N° d'enregistrement au C.N.R.S.

# THÈSE

## DE DOCTORAT D'ÉTAT

**ès Sciences Mathématiques**

PRÉSENTÉE

à l'université Pierre et Marie Curie - Paris 6

PAR

**Yves JAMATI**

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ES-SCIENCES

**Sujet de la Thèse :**

# Contribution à l'identification automatique des objets à partir de leur image photographique

SOUTENUE LE 9 AVRIL 1976 DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

M. le Professeur Jacques ARSAC, rapporteur

M. Michel IMBERT, Sous Directeur de Laboratoire. Collège de France, rapporteur

M. le professeur Robert PALLU DE LA BARRIERE, rapporteur

M. le Professeur Robert FRANCÈS, examinateur

M. le Professeur Louis NOLIN, examinateur

N° d'enregistrement au C.N.R.S.

# THÈSE

## DE DOCTORAT D'ÉTAT

**ès Sciences Mathématiques**

PRÉSENTÉE

à l'université Pierre et Marie Curie - Paris 6

PAR

**Yves JAMATI**

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ES-SCIENCES

Sujet de la Thèse :

# Contribution à l'identification automatique des objets à partir de leur image photographique

SOUTENUE LE 9 AVRIL 1976 DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

M. le Professeur Jacques ARSAC, rapporteur

M. Michel IMBERT, Sous Directeur de Laboratoire. Collège de France, rapporteur

M. le professeur Robert PALLU DE LA BARRIERE, rapporteur

M. le Professeur Robert FRANCÈS, examinateur

M. le Professeur Louis NOLIN, examinateur

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Nous tenons à évoquer ici bien tristement et très respectueusement le souvenir du Professeur René de POSSEL aujourd'hui disparu . Il avait suivi de près ce travail et ses conseils nous ont été particulièrement précieux .

Nous n'oublierons pas les années où nous faisions partie de ses collaborateurs et au cours desquelles nous avons acquis auprès de lui le goût de la recherche .

Ne décourageant jamais l'esprit d'initiative, il avait l'art de donner à chacun la confiance en soi si nécessaire à l'épanouissement de l'individu dans son travail . C'est grâce à lui que nous avons pu entreprendre la recherche qui fait l'objet de cette thèse pour laquelle il avait mis à notre disposition tous les moyens de son laboratoire .

Nous évoquerons toujours son souvenir avec une très respectueuse amitié, mais aussi avec une très grande reconnaissance .

*" ... It is a remarkable fact that, although a great deal of work has been done on pattern-recognition systems by computer scientists, and many programs have been devised to this end, most of it has gone on in fairly complete isolation from psychological and neurological research in the same field . Psychologists can learn much from this work, and one hopes that, conversely, computer scientists can profit from the investigations of psychologists and neurophysiologists . ... "*

Peter C . DODWELL

( *" Visual Pattern Recognition "*, p. 92,
Holt, Rinehart and Wintson, 1970)

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548120_0019

# REMERCIEMENTS

Le propos d'une recherche pluridisciplinaire est de faire appel à des compétences très diverses : c'est pourquoi j'ai été amené à profiter de l'expérience de nombreux Professeurs, Chercheurs, Ingénieurs, collègues et amis... qu'il est temps de remercier à l'occasion de la publication de cette thèse.

Tout d'abord, il y a naturellement tous ceux qui ont travaillé avec le regretté Professeur René DE POSSEL, soit à l'Institut Blaise Pascal et au R A M I, soit à l'Institut de Programmation. J'exprime tout particulièrement ma reconnaissance au Professeur Jacques ARSAC qui a accepté de reprendre la direction de ce travail malgré les lourdes charges associées à ses fonctions de responsable de l'Institut de Programmation. Je remercie également de leur participation au jury, le Professeur Robert PALLU DE LA BARRIERE et le Professeur Louis NOLIN, qui ont aussi beaucoup contribué à rendre possible l'achèvement de ce travail. Je n'oublie pas non plus mes collègues du R A M I, dont je tiens à souligner ici le rôle très important : les images traitées ont en effet toutes été numérisées à l'aide des capteurs qu'ils ont réalisés... et mon travail a bénéficié des améliorations qu'ils ont apportées dans les performances atteintes, au cours de l'élaboration des versions successives; je citerai plus particulièrement M. Jacques RIVAILLIER qui m'a succédé comme responsable du laboratoire d'électronique, ainsi que M. Jean-Marie SAUSSOL et M. Jean-Pierre CRETTEZ qui ont toujours effectué avec beaucoup de soin et de gentillesse les enregistrements que je leur ai demandés tant pour les travaux décrits dans ce mémoire que pour d'autres travaux plus récents. A Mme RAKINSKY, je suis redevable de la réalisation matérielle du mémoire : en la remerciant, je tiens à évoquer les nombreux documents que nous avons mis au point ensemble du temps de notre collaboration auprès du Professeur DE POSSEL.

Je vais parler maintenant des spécialistes de la vision auprès desquels j'ai pu acquérir la formation nécessaire dans ce domaine très nouveau pour moi.

../...

Je remercie tout d'abord le Professeur Robert FRANCES, mon Directeur de Recherche au C N R S, qui a accepté de faire partie du jury et qui m'a accueilli comme chercheur au Laboratoire de Psychologie Expérimentale et Différentielle qu'il dirige à l'Université de Paris X; je lui suis très reconnaissant, car c'est auprès de lui et des chercheurs de son équipe (je pense plus particulièrement à M. François MOLNAR, Maître de Recherche au C N R S), que j'ai pu me familiariser avec les problèmes et les techniques expérimentales utilisées à propos de l'étude de la perception visuelle humaine. Je tiens également à ce sujet, à souligner le rôle de Mme Ariane LEVY-SCHOEN, Maître de Recherche, qui assure mon parrainage au C N R S et que je remercie de m'avoir initié aux problèmes posés par les rôles joués respectivement par la fovéa et par la périphérie rétinienne... dans la prise d'information au cours de l'exploration visuelle; cette question fait l'objet d'une simulation en cours depuis la rédaction de cette thèse...

Je suis très sensible aussi à la présence dans le jury de M. Michel IMBERT, Sous-Directeur de Laboratoire au Collège de France et responsable de l'équipe qui s'y consacre à la physiologie de la vision : je suis heureux d'avoir ici l'occasion de le remercier pour ses encouragements à propos du modèle physiologique décrit dans ce mémoire, ainsi que pour la future collaboration envisagée avec son équipe (je citerai en particulier les échanges de vues que j'ai eu le plaisir d'avoir avec M. BUISSERET et M. FREGNAC)...

Enfin, je remercie également l'ensemble du personnel du C I R C E, en soulignant particulièrement l'efficacité du service d'assistance technique et la compréhension du service d'exploitation à propos de la nécessité d'un horaire spécial de passage pour certains programmes à la fois conversationnels sur console 2250 et gros consommateurs de mémoire centrale.

# A V A N T - P R O P O S

## PROBLEMES COMMUNS A LA DEFINITION D'ALGORITHMES DE RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE DE FORMES ET A LA COMPREHENSION DES PROCESSUS PERCEPTI DE LA VISION HUMAINE

## AVP - I - SEGMENTATION DES IMAGES ET SEGREGATION DES FORMES

Lorsqu'on cherche à résoudre un problème particulier de reconnaissance automatique de formes, il faut tout d'abord élaborer une représentation discrète numérique des formes à traiter, à partir des paramètres physiques prélevés : c'est le rôle du "capteur" que nous préciserons au chapitre I - I , dans le cas du traitement de photographies .

Ensuite, il faut distinguer, parmi les grandeurs numérisées, celles qui caractérisent effectivement les formes à identifier ... de celles qui caractérisent le "fond", c'est-à-dire tout ce qui n'appartient pas à l'univers des formes envisagées . Cette première discrimination est ce qu'on appelle la "segmentation" . Dans le cas des photographies, il s'agit en fait de préciser quels sont les points de la surface de l'image qui appartiennent à la représentation de chacun des objets qu'il s'agit d'identifier .

Ainsi posé, le problème à résoudre en informatique n'a été abordé jusqu'à présent qu'à propos d'applications particulières pour lesquelles on a pu proposer des solutions efficaces (moyennant l'élimination de certains clichés présentant une difficulté de segmentation supplémentaire) ; c'est le cas par exemple de la délimination des chromosomes sur une préparation de mitose, en vue de l'établissement automatique du cariotype (LEDLEY *(1/C-11)* cherche à poursuivre la délimination par extrapolation, dans le cas d'un chevauchement simple ; LE GO *(0/-29)* utilise la répartition type des densités pour éliminer les clichés présentant une forte probabilité de chevauchement...) . On peut préciser par contre que c'est la difficulté de segmentation automatique qui a limité le développement du domaine des applications des techniques de reconnaissance des formes auquel on s'attendait il y a quelques années ... et c'est ce qui nous a poussé à étudier plus particulièrement ce problème dans la PREMIERE PARTIE de cette thèse .

Pour notre système visuel, par contre, il semble que cette opération s'effectue souvent sans la moindre difficulté [1] . La psychologie expérimentale s'est beaucoup attachée, depuis le début du siècle, à expliquer dans quelles conditions se réalise la "ségrégation des formes",

[1] Dans le cas de dépouillement de clichés scientifiques ou médicaux, ce n'est pas le cas car il faut faire intervenir les connaissances du spécialiste sur le contexte associé aux documents traités : un radiologue par exemple, utilise ses connaissances en anatomie et son expérience des cas pathologiques pour interpréter toutes les nuances de gris d'une radiographie . Cet exemple nous montre que toute l'information nécessaire à la segmentation n'est pas toujours contenue dans les paramètres physiques de la photographie : cette opération peut donc être remise en cause au moment de la recherche d'identification qui utilise elle-même le contexte, comme on le verra dans la DEUXIEME PARTIE .

c'est-à-dire la segmentation de l'image rétinienne du champ visuel . Parce que nous pensons que la compréhension des processus utilisés par la vision humaine sont susceptibles de nous aider à trouver des solutions efficaces en informatique pour la segmentation des images ..., nous avons rassemblé en annexe ( A I et A 2) quelques indications sur les acquis de la phychophysiologie dans ce domaine : le lecteur pourra éventuellement s'y reporter s'il est intéressé par ce point de vue .

## A V P - 2 ROLE DE LA CONNAISSANCE DU CONTEXTE DANS L'IDENTIFICATION DES OBJETS

On présente en général le problème de l'identification comme celui de l'attribution de la forme inconnue à l'une des classes d'une partition initialement définie . Si un vocable a été associé à chacune des classes de la partition, la forme ou l'objet identifié se trouve désigné par celui de ces vocables qui est associé à sa classe d'affectation ... Ce point de vue a conduit jusqu'à présent à définir a priori la classification, à partir de concepts exclusifs définis par la partition et son étiquetage tel que nous venons de le suggérer .

Il nous a paru préférable de supprimer cette contrainte entre les concepts utilisés pour la description du contexte, à fin de rendre possible l'expression de celui-ci à l'aide de différentes relations ... dont résulte cette fois ci la définition de la partition . Nous montrerons dans la DEUXIEME PARTIE comment ce point de vue nous conduit à définir des langages spéciaux, proches des langages graphiques..., mais destinés à l'expression des relations du contexte plus qu'à la description des images elles-mêmes .

Les lecteurs intéressés par le rôle du contexte connu a priori dans le comportement perceptif humain, pourra se reporter à l'annexe A - 1 - 3 - . Il y trouvera également mentionnés le rôle du contexte de comportement général du sujet (ou de son attention ...) ainsi que les apports mutuels de structuration entre perception et langage, au cours de l'ontogénèse .

# INTRODUCTION

L'usage des photographies est tellement répandu à notre époque, que leur exploitation automatique paraitra bientôt aussi nécessaire que celle des textes écrits . Des efforts assez importants ont déjà été consacrés à ce problème, comme on pourra s'en rendre compte en consultant la bibliographie que nous avons rassemblée sous le titre : " Description de procédés de traitement de photographies destinés à des applications diverses " *(0/ )* . Parmi les domaines scientifiques ou techniques pour lesquels des recherches ont été entreprises, on peut citer :

- le dépouillement de photographies aériennes ou spatiales .
- le traitement de coupes métallographiques observées au microscope électronique .
- l'interprétation d'images de diffraction aux rayons X , en cristallographie .
- l'aide au diagnostoc médical par l'exploitation de l'information comprise dans des radiographies .
- l'analyse de préparations observées au microscope optique ou électronique, en biologie ( chromosomes pour l'établissement du cariotype, leucocytes pour l'énumération globulaire,...) .

Pour qu'il soit possible de mettre au point de tels procédés, il était tout d'abord nécessaire qu'il existe des capteurs multiniveaux *(0/ -14- 17-38-39 et I/ -1 à 9 )* dont nous préciserons le rôle au début du chapitre I de la premier partie de ce mémoire . La suite de ce chapitre traite des diverses conséquences théoriques de la numérisation des images ainsi obtenue .

En général, dès l'origine de l'étude d'un procédé particulier, applicable à des images préalablement numérisées, on rencontre des difficultés non négligeables à propos de la segmentation de l'image qui correspond à ce qu'on appelle la ségrégation des formes en psychologie de la perception ... L'objectif du chapitre 2 de la PREMIERE PARTIE est de traiter de la localisation des objets et celui du chapitre 3 de la délimitation précise de la surface couverte par la rerpésentation de celui-ci .

L'identification des objets suppose enfin qu'une classification a été définie à partir de critères vérifiables sur chacun d'entre eux . En général, jusqu'à présent, ces classifications sont établies pour chacune des applications envisagées, en se fondant sur des considérations pragmatiques et un certain nombre de connaissances propres à la spécialité concernée . Il en résulte que tout nouveau problème donne lieu à une étude

particulière dont la durée et le coût sont forcément élevés . Ce sont d'ailleurs ces considérations économiques qui expliquent le développement relativement lent du domaine des applications de ces techniques . Le problème que nous nous sommes posé était d'étudier comment il serait possible de recourir à des programmes non spécialisés dont le rôle serait d'organiser les connaissances relatives à un contexte déterminé, fournies comme données par le spécialiste, ... et d'en déduire un processus d'identification directement applicable aux clichés correspondants . Nous présentons dans la DEUXIEME PARTIE une telle tentative appliquée à un contexte particulièrement simplifié ; l'extension à des contextes plus larges, correspondant à une ou plusieurs applications particulières, fait l'objet de nouvelles recherches qui ne seront pas présentées ici .

# I / PREMIERE PARTIE

## DELIMITATION DES SURFACES COUVERTES PAR CHACUN DES OBJETS REPRESENTES SUR LA PHOTOGRAPHIE ANALYSEE.

## I - I - DEFINITIONS RELATIVES AU TRAITEMENT DES IMAGES ET TENANT COMPTE DES CONTRAINTES IMPOSEES PAR L'UTILISATION DES CALCULATEURS.

### I - I - I - RAPPEL DU PRINCIPE DE PRELEVEMENT DE L'INFORMATION SUR L'IMAGE PAR LE CAPTEUR.

### NOTIONS DE "DEFINITIONS HORIZONTALES ET VERTICALES" ET DE "NOMBRE DE NIVEAUX DE GRIS" *(1/-A)*

Toute image monochromatique peut être considérée comme une fonction continue de répartition de l'éclairement sur un plan défini par deux axes perpendiculaires Ox et Oy. Comme les calculateurs ne peuvent traiter que des nombres, il est nécessaire d'approcher cette fonction de x et de y par une suite de valeurs numériques affectées à des points de coordonnées entières. En général, les points choisis sont les sommets des mailles rectangulaires formées par une trame de lignes et de colonnes régulièrement espacées et parallèles aux axes ; la valeur numérique affectée à chaque point correspond au repérage de l'éclairement sur une échelle comportant N échelons et couvrant toute la gamme des éclairements réalisés sur la photographie : on l'appelle le niveau de gris.

Le rôle du capteur est de réaliser cette opération de "discrétisation de l'image" préalable au traitement proprement dit effectué sur calculateur. Les valeurs numériques obtenues au cours de l'exploration de l'image par le spot du capteur sont en général enregistrées sur une bande magnétique destinée à être lue ultérieurement par le calculateur utilisé. La succession des points de la trame atteints pat l'exploration est entièrement définie a priori par le type de "balayage" adopté (colonne par colonne ou ligne par ligne...) ; les niveaux de gris correspondants enregistrés sont alors proportionnels à la quantité de lumière transmise ou diffusée par le cliché éclairé par le spot[1], selon qu'il s'agit de documents transparents ou opaques. Tout fonctionnement du capteur est caractérisé par les "définitions horizontales et verticales" respectivement égales au nombre de colonnes et de lignes de la trame par millimètre..., et par le "nombre de niveaux de gris" égal au nombre N d'échelons adopté. Les gammes de réglage de ces trois paramètres définissent les performances du capteur utilisé.

[1] Précisons que la surface éclairée par le spot est une tache approximativement circulaire dont l'éclairement est maximum au "centre".

## I - I - 2 RAPPORTS ENTRE L'IMAGE ET SA "REPRESENTATION DISCRETE" ELABOREE PAR LE CAPTEUR .

Ainsi que nous l'avons rappelé au précédent paragraphe, une image monochromatique équivaut à une fonction réelle I de deux variables réelles x et y . Le domaine de définition D de cette fonction est le plan de l'image et sa valeur est la quantité de lumière transmise ou diffusée par le spot, pour chaque position de son "centre" dans D .

La "représentation discrète de l'image" est par contre... "une fonction indicielle (des deux indices entiers i et j ), $m_{i,j}$ ayant la même valeur que I au point $P_{i,j}$ d'abscisse i et d'ordonnée j," ... (citation de la thèse de Marcel REYNAL, p.3 , (U/ - B - 6) ) sur la trame de discrétisation . Il est important de souligner que cette représentation discrète, traitée par le calculateur, n'est qu'un schéma de l'image initiale dont elle ne peut conserver toutes les propriétés . Nous donnerons des précisions à ce sujet dans les prochains paragraphes .

## I - I - 3 CHOIX D'OPERATEURS TRADUISANT CERTAINES "PROPRIETES LOCALES" DE L'IMAGE ET DE SA REPRESENTATION DISCRETE . (figure 1)

Rappelons tout d'abord la notion d' "opérateur appliqué à une image" :- ... "Soit I une image .

Soit un point de coordonnées (a,b) appartenant au domaine de définition de l'image, et soit V (a,b) un " voisinage " entourant le point (a,b) que nous supposerons reproductible par translation en tout point de l'image I .

Alors, une fonctionnelle $\mathcal{F}$ qui transforme le niveau de gris I (a,b) en un point (a,b) de l'image de telle manière que la nouvelle valeur I' (a,b) du niveau de gris en (a,b) soit une fonction des valeurs des niveaux de gris sur le voisinage V(a,b) est un opérateur sur l'image .

Ce voisinage est formé des points de coodonnées a + r , b + s , le point (r,s) appartenant à un certain voisinage de l'origine V(0,0) .

I' (a,b) est alors fonction des valeurs de I (x,y) aux points (a + r , b + s) , avec (r,s) $\in$ V(0,0) .

Dans le cas particulier où le voisinage V (a,b) se réduit au point (a,b) lui-même l'opération sera dite "ponctuelle" . "... (citation de la thèse de Marcel REYNAL,p. 6 et 7, (U / - B - 6 ) )

Pour appliquer la notion précédente d' "opérateur sur la représentation discrète d'une

image", il est bon de faire intervenir une convolution[1] entre la représentation discrète $m_{i,j}$ de l'image I et une autre fonction indicielle $q_{a,b}$ appelée un "masque", maximale pour $(a,b) = (0,0)$, décroissante en fonction de la valeur absolue des indices et définie sur le domaine :

$$-n \leq a \leq n$$

$$-m \leq b \leq m$$

L'opérateur $\mathcal{F}$ est défini, à partir de cette convolution, par la fonctionnelle :

$$m'_{i,j} = \mathcal{F}(m_{i,j}) = \sum_{k=-n}^{+n} \sum_{l=-m}^{+m} q_{k,l}\ m_{i+k,j+l}$$

Le choix d'un opérateur applicable à la représentation discrète d'une image revient donc à la définition d'un "masque" $q_{k,l}$ par une matrice de "poids" "centrée" sur le point (0,0).

En général, on est amené à effectuer le choix d'un opérateur, appliqué à l'image ou à sa représentation discrète ..., de façon à établir une correspondance déterminée entre fonctions I'(x,y) et I(x,y) ou $m'_{i,j}$ et $m_{i,j}$. C'est ainsi, par exemple, qu'on peut avoir en vue l'obtention d'une image I'(x,y) ou d'une représentation discrète $m'_{i,j}$ sur lesquelles certaines fréquences spatiales ont été filtrées : les fréquences élevées s'il s'agit d'éliminer des fluctuations attribuées à un "bruit", les fréquences basses s'il s'agit au contraire de mettre en évidence des discontinuités d'éclairement.

Dans le cas qui nous intéresse, l'utilisation d'un opérateur a plus particulièrement pour but de mettre en évidence des zônes de l'image possédant une propriété particulière, qui est dite "locale" parcequ'elle ne dépend que des valeurs prises par la fonction I(x,y) ou $m_{i,j}$ sur le "voisinage" des points appartenant à cette zône. Précisons que dans le cas des représentations discrètes, le "voisinage" du point (i,j) peut être assimilé à l'ensemble des points de la trame couverts par le masque centré sur lui, à condition que soient respectées les règles énoncées plus loin au sujet de la connexion (I - I - 4 - 2).

Nous allons maintenant présenter les six opérateurs que nous utilisons au chapitre suivant, en vue de la délimitation des objets.

[1] La notion de convolution est ici applicable à condition de remplacer par des sommes finies les intégrales de la définition classique...

I - I - 3 - I - OPERATEUR GRADIENT (rappel de la définition classique pour les images et de son adaptation à leur représentation discrète)

A partir de l'image I (x,y) et des vecteurs unitaires $\vec{i}_x$ et $\vec{i}_y$ des axes du plan sur lequel elle est définie, on peut introduire, comme dans la théorie des champs, une grandeur vectorielle appelée le GRADIENT :

$$\overrightarrow{\text{grad}}\ I = \frac{\partial I}{\partial x}\vec{i}_x + \frac{\partial I}{\partial y}\vec{i}_y$$

Sa direction $\theta$ vis à vis de l'axe Ox, définie par : $\text{tg}\ \theta = \frac{\partial I}{\partial y} \Big/ \frac{\partial I}{\partial x}$ est celle qui correspond à la plus grande variation d'éclairement par unité de longueur .

Son module : $\left[ \left( \frac{\partial I}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}$ caractérise l'importance de cette variation .

A partir de la représentation discrète de I , il est possible de définir un vecteur ayant des propriétés analogues ... et qu'on appelle également GRADIENT , bien qu'il ne soit qu'une approximation du vecteur défini sur l'image correspondante :

... " Soit $P_{i,j}$ un point quelconque " ... de la représentation discrète de l'image .

... "Considérons l'ensemble des 8 points $\{P_{\alpha,\beta}\}$ les "plus proches" de $P_{i,j}$ .

$\{P_{\alpha,\beta}\}$ est constitué par les 8 points :

$\{ P_{i-1,j-1} , P_{i-1,j} , P_{i-1,j+1} , P_{i,j+1} , P_{i+1,j+1} , P_{i+1,j} , P_{i+1,j-1} , P_{i,j-1} \}$

A partir du point $P_{i,j}$ , il existe 8 directions possibles pour se rendre à un point de l'ensemble $\{P_{\alpha,\beta}\}$

On appellera $\{Dir\}$ l'ensemble de ces 8 directions, notées de 0 à 7 .

On peut rechercher pour chaque point de "... la représentation discrète,..." en utilisant des masques appropriés, la direction (parmi les 8) de la plus forte variation de I et prendre, au lieu du GRADIENT , le module de cette variation maximale .

Un ensemble de 8 masques :

$\{ (q_0) , (q_1) , (q_2) , (q_3) , (q_4) , (q_5) , (q_6) , (q_7) \}$

correspondant aux huit directions sera (par exemple) :

$$(q_0)=\begin{bmatrix} -I & I & I \\ -I & -2 & I \\ -I & I & I \end{bmatrix} \qquad (q_1)=\begin{bmatrix} I & I & I \\ -I & -2 & I \\ -I & -I & I \end{bmatrix} \qquad (q_2)=\begin{bmatrix} I & I & I \\ I & -2 & I \\ -I & -I & -I \end{bmatrix}$$

$$(q_3)=\begin{bmatrix} I & I & I \\ I & -2 & -I \\ I & -I & -I \end{bmatrix} \qquad (q_4)=\begin{bmatrix} I & I & -I \\ I & -2 & -I \\ I & I & -I \end{bmatrix} \qquad (q_5)=\begin{bmatrix} I & -I & -I \\ I & -2 & -I \\ I & I & I \end{bmatrix}$$

$$(q_6)=\begin{bmatrix} -I & -I & -I \\ I & -2 & I \\ I & I & I \end{bmatrix} \qquad (q_7)=\begin{bmatrix} -I & -I & I \\ -I & -2 & I \\ I & I & I \end{bmatrix}$$

On voit que $(q_0)$ permet de détecter des GRADIENTS de direction 0 , de même $(q_1)$ pour la direction 1, etc ...

Le calcul en tout point de $(m_{i,j})$ de 8 produits de convolution du type :

$C_k = (q_k) * (m_{i,j})$ , pour k = 0 , I , ... , 7

permet de définir la "meilleure" direction du GRADIENT en chaque point .

On effectue pour cela l'opération (en parallèle) :

$m'_{i,j} = \mathcal{F}(m_{i,j}) = \mathrm{Sup}_{k=0,\ldots,7} \{c_k\}$

"... (citation de la thèse de Marcel REYNAL, p. 15 à 17 ,(1 / - -6) )

Le point de vue pratique mène à préférer l'approximation suivante du GRADIENT qui a l'avantage de conduire à des calculs plus courts :

Le GRADIENT est assimilé en tout point de la représentation discrète (n'appartenant ni à la première ou dernière ligne, ni à la première ou dernière colonne) , au vecteur défini, par son amplitute et sa direction comme suit :

- l' AMPLITUDE du GRADIENT est égale à la plus grande différence positive entre le niveau de gris au point considéré et celui des différents points du périmètre du carré de 3 × 3 points centré sur lui .
- la DIRECTION du GRADIENT est celle des 8 directions appartenant à $\{Dir\}$ pour laquelle

se produit ce maximum .

Si le maximum est réalisé pour tout un secteur angulaire, la direction choisie est celle de la bissectrice (ou, arbitrairement, l'une des deux directions voisines ...) ; s'il y a plusieurs secteurs angulaires pour lesquels le maximum est réalisé, un choix arbitraire doit lever l'indétermination .

Voici le code adopté pour chacune des 8 directions de $\{Dir\}$ tel qu'il apparait sur nos listages :

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Direction : | ← | ↙ | ↓ | ↘ | → | ↗ | ↑ | ↖ |
| Code : | ( | L | V | J | ) | 7 | A | F |
| Masque Ière définition : | $q_0$ | $q_1$ | $q_2$ | $q_3$ | $q_4$ | $q_5$ | $q_6$ | $q_7$ |

Appliquons la nouvelle définition du GRADIENT à l'exemple suivant de répartition des niveaux de gris sur la représentation discrète :

| | | |
|---|---|---|
| 10 | 8 | 7 |
| 12 | 13 | 9 |
| 13 | 12 | 12 |

Le GRADIENT au point central est un vecteur de module (AMPLITUDE du GRADIENT) égal à 6 et d'orientation (DIRECTION du GRADIENT) définie par le code "7" .

(En appliquant la première définition qui fait intervenir la comparaison des 8 convolutions $C_k$ ($C_0 = -13$ , $C_1 = -17$ , $C_2 = -17$ , $C_3 = -19$ , $C_4 = 1$ , $C_5 = 9$ , $C_6 = 7$ , $C_7 = -3$ ), on aurait trouvé un vecteur de module égal à 9 et de direction caractérisée par le masque $q_5$ et identique à la précédente (code "7").)

I - I - 3 -2 - OPERATEUR NIVEAU DE GRIS MOYEN

A partir de l'image I (x,y) et du choix de la valeur du rayon du cercle définissant le "voisinage" de chacun de ses points, on peut introduire la notion de NIVEAU DE GRIS MOYEN local . Cet opérateur remplace la valeur de l'éclairement au point considéré par celle de son intégrale étendue à la surface du "voisinage" circulaire centré en ce point , divisée par cette surface .

A partir de la représentation discrète, l'opération équivalente consiste à remplacer la valeur du niveau de gris en chaque point par la moyenne des valeurs de ces niveaux

prélevés sur la surface d'un carré centré sur lui . Pour nos essais, nous avons utilisé des "voisinages" carrés de $5 \times 5$ points ; dans ce cas, précisons que le NIVEAU DE GRIS MOYEN n'est défini que pour les points de la représentation discrète non compris dans le cadre formé par les 2 premières et les 2 dernières colonnes, ainsi que par les 2 premières et 2 dernières lignes ...

I - I - 3 - 3 - OPERATEUR TEXTURE *(1 / - E)*

A partir de l'image $I(x,y)$ et du choix du rayon R du "voisinage" de chaque point $(x,y)$, ainsi que du nombre M de cercles concentriques équidistants découpant celui-ci en couronnes..., il est possible d'introduire la notion de TEXTURE locale destinée à caractériser la répartition des fluctuations d'éclairement autour du point considéré .

Dans ce but, pour tout entier m tel que $1 \leqslant m \leqslant M$, il parait intéressant de dénombrer, le long du cercle de rayon $\frac{m}{M} \cdot R$ centré sur $(x,y)$ , les zéros de :

$$\frac{\partial^2 I}{\partial \varphi^2} \left(x + \frac{m}{M} R \cos \varphi,\ y + \frac{m}{M} \cdot R \sin \varphi\right)$$

Ces zéros correspondent aux extrema de $\frac{\partial I}{\partial \varphi} \left(x + \frac{m}{M} \cdot R \cos \varphi,\ y + \frac{m}{M} \cdot R \sin \varphi\right)$

qui caractérisent les transitions entre zones claires et obscures .

La définition de la TEXTURE que nous proposons introduit de plus une pondération $P(m)$ , fonction décroissante de m , à fin de donner plus d'importance aux fluctuations les plus proches du point considéré (principe général adopté pour la définition des propriétés locales ) :

$$T(x,y) = \sum_{m=1}^{M} P(m) \sum_{\varphi=0}^{2\pi} \text{nombre de zéros de } \frac{\partial^2 I}{\partial \varphi^2} \left(x + \frac{m}{M} R \cos \varphi,\ y + \frac{m}{M} \cdot R \sin \varphi\right)$$

A partir de la représentation discrète, il est possible de définir une TEXTURE, par analogie avec la définition précédente ; les cercles concentriques sont remplacés par les carrés centrés sur le point $P_{i,j}$ considéré ; le choix de R et de M est ici remplacé par celui des carrés de $3 \times 3$ points, de $5 \times 5$ points, etc ... délimitant le "voisinage" utilisé : nous nous limitons au carré de $5 \times 5$ et la TEXTURE au point $P_{i,j}$ est alors définie par une sommation pondérée (poids 2/3 et 1/3) des nombres $N_3$ et $N_5$ de changements de signe

des accroissements successifs du niveau de gris le long des côtés des carrés de $3 \times 3$ points et de $5 \times 5$ points centrés sur $P_{i,j}$ :

$$T(P_{i,j}) = (2 . N_3 + N_5) / 3$$

Précisons que les résultats obtenus au cours de nos premiers essais nous ont conduit à modifier cette définition en ne comptabilisant plus que les changements de signe des accroissements successifs dont la somme des valeurs absolues est supérieure à 2 , pour le calcul de $N_3$ et de $N_5$ à partir d'une échelle de numérisation de l'image à 32 échelons .

La TEXTURE n'est définie, comme le NIVEAU DE GRIS MOYEN, que pour les points de la représentation discrète qui ne sont pas compris dans le "cadre" formé par les 2 premières et les 2 dernières colonnes, ainsi que par les 2 premières et les 2 dernières lignes ...

## I - I - 3 - 4 - OPERATEUR DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES

Cas d'une image $I(x,y)$

Soient $\bar{E}_{min}$ et $\bar{E}_{Max}$ les bornes définissant la gamme de niveaux de gris moyens rencontrés sur la photographie .

Soit $\bar{E}(x,y)$ le niveau de gris moyen au point $(x,y)$ .

Soit $\bar{E}_\varepsilon = \varepsilon \dfrac{\bar{E}_{Max}}{\bar{E}_{min}}$ un seuil défini par le choix de $\varepsilon$ .

Soit S la surface du "voisinage" de $(x,y)$ choisi et $\bar{E}(x+r, y+s)$ le niveau de gris moyen au point de celui-ci qui correspond au point (r,s) du voisinage $V(0,0)$ .

Soit $S_1$ la surface formée par les points de S dont le niveau de gris moyen $\bar{E}(x+r, y+s)$ est tel que : $\bar{E}(x+r, y+s) - \bar{E}(x,y) > \bar{E}_\varepsilon$

Soit $S_2$ la surface formée par les points de S dont le niveau de gris moyen $\bar{E}(x+r, y+s)$ est tel que : $\bar{E}(x,y) - \bar{E}(x+r, y+s) > \bar{E}_\varepsilon$

Soit $\eta$ une fraction inférieure à 1 .

On dire, par définition, que le point (x,y) appartient à un BORD CONTRASTE si $S_1$ et $S_2$ sont supérieures ou égales à $\Delta = \eta \cdot S$ .

Cas de la représentation discrète d'une image .

Par analogie, on dira qu'un point $P_{i,j}$ de la représentation discrète d'une image appartient à un BORD CONTRASTE s'il existe sur le voisinage de $P_{i,j}$ au moins L points dont les écarts positifs de niveaux de gris moyens vis à vis de celui de $P_{i,j}$ sont supérieurs à un certain seuil $S_0$ et au moins L points dont les écarts négatifs de niveaux de gris moyens vis à vis de celui de $P_{i,j}$ ont une valeur absolue supérieure à ce seuil $S_0$ .

Nous avons choisi pour voisinage de $P_{i,j}$ les points compris dans le carré de $5 \times 5$ points centré sur $P_{i,j}$ .

Les valeurs absolues adoptées respectivement pour L et $S_0$ sont 4 et 1 .

## I - I - 3 - 5 - OPERATEUR DETECTEUR DE BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES

Cas d'une image I (x,y)

Soit R le rayon du "voisinage" circulaire de (x,y) utilisé pour définir le NIVEAU DE GRIS MOYEN en tout point (x,y) de l'image .

Soient M le nombre de cercles concentriques équidistants et P (m) les poids correspondants, pour $1 \leq m \leq M$, choisis pour définir la TEXTURE locale .

D'après notre définition, la TEXTURE T (x,y) prend la valeur $T_0 = 2 \sum_{m=1}^{M} P(m)$ en tout point (x,y) appartenant à un bord, contrasté ou non, si l'éclairement des 2 zones qu'il sépare est, sur son voisinage, une fonction monotone des coordonnées r et s .

En effet, dans ce cas, il y a sur chacun des M cercles concentriques du "voisinage" de (x,y) une transition zône claire - zône obscure et une transition zône obscure - zône claire ...

Par contre, si la variation de l'éclairement sur le voisinage n'est pas une fonction monotone des coordonnées r et s, il est difficile d'utiliser T(x,y) pour identifier les points (x,y) appartenant à un bord . C'est pourquoi, dans le cas des BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES non détectés par l'opérateur précédent..., nous avons cherché à utiliser l'opérateur TEXTURE appliqué à l'image préalablement "lissée" par l'opérateur NIVEAU DE GRIS MOYEN . Dans ces conditions, la plupart des fluctuations ayant été éliminées, on peut dire que le point (x,y) appartient à un bord si la TEXTURE DU NIVEAU DE GRIS MOYEN en (x,y) est supérieure ou égale à $T_0 = 2 \sum_{m=1}^{M} P(m)$ .

Cas de la représentation discrète d'une image

Par analogie, en vue de trouver des points appartenant à des BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES que l'opérateur précédent ne permet pas de déceler, on dira qu'un point $P_{i,j}$ de la représentation discrète d'une image appartient à un bord, si la TEXTURE DU NIVEAU DE GRIS MOYEN en $P_{i,j}$ est supérieure à un certain seuil $T_0 = 2 (\frac{2}{3} + \frac{1}{3}) = 2$ , le "voisinage" adopté étant le carré de $5 \times 5$ points centré sur $P_{i,j}$ .

## I - I - 3 - 6 - OPERATEUR DETECTEUR DE BORDS SEPARANT DES ZONES A REPARTITIONS STATISTIQUES DIFFERENTES DES ECLAIREMENTS .

### Cas d'une image I (x,y)

Il peut être intéressant de trouver le bord séparant des zônes caractérisées par des TEXTURES locales différentes malgré l'égalité de leur NIVEAU DE GRIS MOYENS . C'est le problème qui se pose par exemple dans le cas où il sagit de délimiter deux damiers jointifs de pas différents ...

Appelons TEXTURE MOYENNE locale la valeur obtenue en chaque point (x,y) par application successive de l'opérateur TEXTURE à l'image I (x,y), puis de l'opérateur NIVEAU DE GRIS MOYEN au résultat ainsi obtenu .

Supposons la TEXTURE MOYENNE comprise entre $T_1$ et $T'_1$ dans une zône "1" et entre $T_2$ et $T'_2$ dans une autre zône "2" . Supposons de plus que ces deux intervalles sont disjoints .

Dans ces conditions, on peut dire qu'un point (x,y) appartient à un BORD SEPARANT DES ZONES A REPARTITIONS STATISTIQUES DIFFERENTES DES ECLAIREMENTS si son "voisinage" comprend à la fois des points dont la TEXTURE MOYENNE est comprise dans l'intervalle $T_1$ , $T'_1$ et des points dont la TEXTURE MOYENNE est comprise dans l'intervalle $T_2$ , $T'_2$ .

### Cas de la représentation discrète d'une image

Par analogie, on appelle TEXTURE MOYENNE locale en un point $P_{i,j}$ de la représentation discrète d'une image la valeur obtenue en ce point par l'application successive des opérateurs TEXTURE et NIVEAU DE GRIS MOYEN .

On dira alors que $P_{i,j}$ et $P_{i+1,j}$ [ou $P_{i,j}$ et $P_{i,j+1}$] appartiennent à un BORD SEPARANT DES ZONES A REPARTITIONS STATISTIQUES DIFFERENTES DES NIVEAUX DE GRIS si la différence de TEXTURE MOYENNE entre les points $P_{i-1,j}$ et $P_{i+2,j}$ [ou $P_{i,j-1}$ et $P_{i,j+2}$] est supérieure à un certain seuil D .

Nous avons utilisé la valeur $D = 1$ .

## I - I - 4 - PRECAUTIONS A PRENDRE A FIN D'ASSURER L'INVARIANCE DE LA CONNEXION LORSQU'ON PASSE D'UNE "IMAGE BINAIRE" A SA REPRESENTATION DISCRETE .

Lorsque nous chercherons à délimiter la surface couverte par chaque objet représenté sur une photographie, nous serons amenés à nous intéresser à la connexion des contours obtenus . L'image de ces contours, analogue à un dessin au trait, est une "image binaire" c'est-à-dire que I(x,y) ne peut prendre que les valeurs 0 ou I . Il importe que le découpage de cette image binaire en composantes connexes ne soit pratiquement pas modifié au cours de la discrétisation . Avant de préciser les précautions qui doivent être prises à cet effet dans le choix d'une définition de la connexion applicable à la représentation discrète d'une image..., nous allons rappeler comment la notion de connexion, applicable aux images binaires, est introduite en topologie .

### I - I - 4 - I - Rappel de la définition de la connexion en topologie et application aux "images binaires" .

Nous avons emprunté au cours d'Analyse numérique du professeur René de POSSEL *(1/B-1)* les quelques définitions de topologie nécessaires à l'introduction de la notion de connexion :

Une base de filtre $\mathcal{B}$ est une famille d'ensembles ne comportant pas l'ensemble vide et telle que les intersections deux à deux contiennent toutes un ensemble de la famille .

Un filtre $\mathcal{F}$ engendré par une base de filtre $\mathcal{B}$ est la famille d'ensembles obtenue ..." en adjoignant à chaque ensemble B de $\mathcal{B}$ tous les ensembles qui contiennent B ."

" Un espace topologique est un ensemble E d'éléments appelés points a à chacun desquels on a associé une famille de parties de E contenant a , formant une base de filtre . Le filtre engendré par cette base est dit " filtre des voisinages de a ", et ses ensembles constituent les "voisinages de a", notés V (a) . En outre, la condition suivante est vérifiée : Tout voisinage V (a) contient un voisinage W (a) dont tout point admet V (a) pour voisinage" .

Les "voisinages"introduits intuitivement dans ce qui précède se trouvent répondre à la définition rigoureuse que nous venons de donner parce que toute métrique permet la définition d'une topologie dans laquelle les voisinages sont des boules ouvertes de centre a .

Soient E et F des espaces topologiques .

$\forall x \in E$, $\exists \mathcal{B}(x)$ base de voisinages de x ( en particulier $\mathcal{B}(a)$ pour $x = a$) .

$\forall y \in F$, $\exists \mathcal{B}(y)$ base de voisinages de y (en particulier $\mathcal{B}(b)$ pour $y = b$) .

Une "fonction $y = f(x)$ est dite continue au point a si, quel que soit le voisinage B du point b appartenant à $\mathcal{B}(b)$, il existe un voisinage A du point a appartenant à $\mathcal{B}(a)$ dont l'image par f est contenue dans B " .

La notion de connexion par arcs s'en déduit :

Soit A un ensemble de l'espace topologique E . " Si, pour tout couple de points (a,b) de A, il existe un "arc", image continue d'un intervalle fermé de " ... l'ensemble des réels ... " $\mathbb{R}$ , contenant ces deux points, l'ensemble A est connexe" .

" Une réunion d'ensembles connexes contenant un point est connexe , la réunion de tous les ensembles connexes contenant un point est connexe ; la réunion de tous les ensembles connexes contenant un point est le plus grand ensemble connexe le contenant . C'est la composante connexe du point " .

Ces définitions s'appliquent aux "images binaires" à condition de considérer I (x,y) comme l'indicatrice du sous-espace topologique $\theta$ [ $(x,y) \in \theta$ si, et seulement si $I(x,y) = 1$ ] sur lequel on cherche les composantes connexes distinctes . On peut définir également les composantes connexes distinctes de l'espace complémentaire $\bar{\theta}$ défini par $(x,y) \in \bar{\theta}$ si et seulement si $I(x,y) = 0$ .

I - I - 4 - 2 - Définition de la connexion étendue à la représentation discrète d'une "image binaire", qui respecte l'invariance dans le passage de l'image à sa représentation discrète et évite toute contradiction dans l'interprétation d'images complémentaires .

Le problème est le suivant : il faut que deux points $P_{i,j}$ et $P_{i',j'}$ soient considérés comme appartenant à la même composante connexe de la représentation discrète si et seulement si les points (x,y) et (x',y') appartiennent eux-mêmes à la même composante connexe de l'image I (x,y) . Cette propriété doit de plus se conserver quand on passe du sous-espace $\theta$ à son complémentaire $\bar{\theta}$ .

On utilisera dans ce qui suit deux métriques distinctes, définies par les distances :

$$d_1(P_{i,j}, P_{i',j'}) = \text{Max}\,(|i' - i|, |j' - j|)$$

$$d_2(P_{i,j}, P_{i',j'}) = |i' - i| + |j' - j|$$

Il est intéressant de remarquer, comme le font A. ROSENFELD et J.L. PFLATZ *(1-B-2)* que le cercle du plan Euclidien (défini comme le lieu des points situés à une distance R de son centre ...) devient un carré à côtés parallèles aux axes de la trame lorsqu'on utilise $d_1$ et un carré à côtés parallèles aux diagonales lorsqu'on utilise $d_2$ (figure 2).

Le côté de la maille de la trame est choisi comme unité dans les deux cas ; on pose : $d_1(P_{i,j}, P_{i+1,j}) = 1$ ou $d_2(P_{i,j}, P_{i+1,j}) = 1$

Soient deux points $P_A$ et $P_B$ de la représentation discrète d'une image binaire. Nous dirons que $P_A$ et $P_B$ appartiennent à une même composante connexe de cette représentation discrète s'il existe une suite finie de N points $P_A = P_1, P_2, \ldots, P_{N-1}, P_N = P_B$ telle que $d(P_n, P_{n+1}) = 1$ quel que soit $n \in [1, N-1]$.

Nous allons montrer sur un exemple pourquoi, ainsi que A. ROSENFELD l'a remarqué *(1-B,3)*, la distance $d_1$ doit être utilisée pour le sous-espace $\theta$ et la distance $d_2$ pour son complémentaire $\bar{\theta}$ :

Considérons l'image d'un contour carré à côtés parallèles aux diagonales et une représentation discrète particulière de celui-ci formée par les quatres sommets (figure 3).

Si on utilisait la $d_1$ - connexion à la fois pour $\theta$ et pour $\bar{\theta}$, l'"intérieur" et "extérieur" définis comme des composantes connexes distinctes sur l'image, seraient confondus en une seule composante connexe de $\bar{\theta}$ sur la représentation discrète.

Si on utilisait la $d_2$-connexion à la fois pour $\theta$ et pour $\bar{\theta}$, l'"intérieur" et l'"extérieur" correspondraient bien à deux composantes connexes distinctes de $\bar{\theta}$ sur la représentation discrète ..., mais le contour de l'image correspondrait alors à quatre composantes connexes distinctes de la représentation discrète.

C'est seulement en utilisant la $d_1$-connexion pour $\theta$ et la $d_2$-connexion pour $\bar{\theta}$ qu'il est possible de conserver la correspondance entre les composantes connexes de l'image et de sa représentation discrète, et ceci à la fois pour le contour $\theta$ et pour l'"intérieur" et l'"extérieur" appartenant à $\bar{\theta}$.

## I - 2 - PROBLEME DE LA LOCALISATION DES OBJETS *(1 / - C )*

Sur la surface d'une photographie, il y a presque toujours plusieurs objets représentés et même souvent il y en a un grand nombre ... On ne s'intéresse généralement qu'à certains d'entre eux, que le procédé automatique doit tout d'abord localiser à partir de la seule répartition des éclairements . Le but de cette première opération est de permettre l'élimination des zônes de l'image qui ne comportent pas d'information vis à vis du problème posé, tout en délimitant grossièrement celles qui correspondent à un ou plusieurs objets cherchés . Ce seront ces dernières qui seront analysées séparément, au cours de l'opération suivante de délimitation précise des surfaces couvertes par la représentation de chacun des objets qu'il s'agit d'identifier ( voir 1-3) .

### I - 2 - 1 - Méthode employée : utilisation de l'opérateur GRADIENT appliqué à la représentation discrète obtenue par exploration de l'image à définition réduite .

Nous avons annoncé plus haut que le critère de localisation des objets ne doit dépendre que de la répartition des éclairements sur l'image . Cette hypothèse élimine toute intervention de la signification sur cette étape de la segmentation de l'image . Pratiquement, on sait que ce sont les discontinuités d'éclairement qui permettent de distinguer la présence d'un objet lorsque celui-ci est éloigné et se détache sur un fond uniforme (cas d'un navire aperçu à l'horizon...) . Par contre, dans le cas d'objets vus sous un angle non négligeable, les discontinuités d'éclairement caractérisent certains bords ou éléments de contours qui sont systématiquement recherchés à l'étape suivante ( voir 1 - 3) ... ; il sagit ici de n'utiliser, en vue du simple repérage de la présence d'objets..., que le petit nombre de points de ces contours qui subsistent sur la représentation discrète à faible définition obtenue par saut de lignes et de colonnes sur la représentation discrète initiale .

I - 2 - 2 - Résultats obtenus au cours de l'expérimentation .

Pour nos premiers essais effectués en 1970, ne disposant pas d'un capteur multiniveaux, nous avons simulé les représentations discrètes par des perforations de cartes . Nous présentons tout d'abord les résultats obtenus à partir de telles données, par le "programme utilisant les discontinuités de l'image complète représentée à faible définition "dont le principe de fonctionnement est décrit au prochain paragraphe ( 1-2-3) .

Essai A : La figure 6 montre la représentation discrète obtenue à partir de l'estimation visuelle des niveaux de gris observés sur la photographie de la figure 4 , à travers une grille 30 × 30 cases . Comme cette estimation est rendue difficile par la répartition non uniforme des éclairements sur la surface de chaque case, nous n'avons pas cherché à utiliser une échelle de plus de 5 niveaux de gris... La figure 8 montre un objet qui a été correctement isolé par ce programme puis délimité par une méthode qui sera décrite au chapitre suivant ( 1-3 , paragraphe I-3-2) .

Essai B : La figure 12 présente la représentation discrète d'une image binaire comportant des surfaces et des contours "géométriques "simples . Les figures 14, 16, 18 et 19 montrent que les surfaces "pleines"ont été correctement localisées et isolées par le programme ; par contre le découpage du contour triangulaire en deux composantes distinctes (figures 15 et 17), la disparition de son côté vertical et celle du segment horizontal du haut de la figure 12 ... mettent en évidence l'inconvénient du procédé qui néglige arbitrairement certains éléments de tracés dont la représentation initiale est cependant bien connexe d'après la définition donnée au paragraphe I-I-4-2- .

L'essai suivant a été réalisé à partir des enregistrements obtenus à l'aide du "capteur 1ère version" dont la description sera donnée plus loin (se reporter au paragraphe I-2-3) . Ces enregistrements correspondent à plusieurs bandes d'exploration successives qui se chevauchent et couvrent ainsi la surface de la photographie avec une définition plus élevée que celle qui serait obtenue par l'exploration en une bande unique ... Le principe de raccordement des bandes a été choisi à partir d'essais dont nous présenterons les résultats à propos de la description du programme au paragraphe I-2-3- .

Essai C : La figure 22 montre une représentation discrète, à définition réduite, obtenue à partir du raccordement de 3 bandes enregistrées successivement par le capteur et couvrant le haut de la photographie de la figure 21 . La définition initiale est celle du capteur: 72 points dans la hauteur de chaque bande explorée ; les niveaux de gris sont repérés sur une échelle de 10 niveaux distincts . La figure 25 montre un objet qui a été correctement localisé par le programme qui opère par regroupement des cases découpées sur différentes bandes d'exploration et couvrant une partie de la surface couverte par cet objet. Sa délimitation plus précise pose les problèmes que nous abordons au chapitre I-3 . Les autres objets de la photographie de la figure 21 n'ont pas été correctement isolés par le programme utilisé .

I-2-3- Moyens techniques utilisés

Capteur multiniveaux ''1ère version''

Le capteur utilisé pour l'essai avait été réalisé au R.A.M.I. (Laboratoire de Recherches Avancées en Moyens d'Informatique, laboratoire propre du C.N.R.S.), à partir de la modification d'un capteur biniveaux initialement destiné à la lecture automatique. Selon le principe du ''flying-spot'', l'image du spot d'un tube cathodique était projetée sur le document opaque à ''digitaliser'', et la lumière diffusée pour chaque position successivement atteinte sur celui-ci était recueillie par un photomultiplicateur , le signal analogique qui en résulte était comparé à différents niveaux continus, comme dans un voltmètre digital, en vue de la numérisation . Dans le cas de ce capteur, les positions successivement occupées par l'image du spot étaient définies par un balayage électronique définissant une colonne de 72 ''points'' , et par le déplacement perpendiculaire obtenu par la translation d'un miroir : ceci permettait de couvrir la surface d'un rectangle allongé initialement prévu pour couvrir une rangée de caractères... Le réglage du grandissement optique permettait d'ajuster le côté vertical de ce rectangle entre 2 et 10 millimètres ; le déplacement mécanique du miroir était réglable jusqu'à 200 millimètres, mais des valeurs beaucoup plus faibles ont été utilisées pour les photographies... La tache formée par l'image du spot sur la photographie était allongée à cause de l'inclinaison du faisceau lumineux , ses dimensions étaient de l'ordre de quelques microns et la lumière décroissante à partir de la région centrale . La numérisation était effectuée sur une échelle de 10 niveaux de gris . Ce capteur est resté en service jusqu'en juin 1971, date à laquelle a été mis en service le ''capteur multiniveaux 2ème version'' qui sera décrit plus loin (voir paragraphe I-3-3-3) .

Programme utilisant les discontinuités de l'image complète représentée à faible définition ( ce programme a fait l'objet des essais A et B dont nous venons de présenter les résultats ( voir paragraphe I-2-2)) .

Rappelons que les représentations discrètes traitées au cours de l'essai . A (figure 6.) et au cours de l'essai B (Figure 12) comportent respectivement 4 niveaux distincts : 0 , 1 , 2 et 3 et 2 niveaux distincts : 0 et 1 . Le seuil d'AMPLITUDE DE GRADIENT à partir duquel un point est considéré comme une "discontinuité" significative de la présence d'un objet..., a été fixé à 3 dans le premier cas et à 1 dans le second . La définition, initialement faible ..., est augmentée tant que le nombre de discontinuités ainsi définies est inférieur à 4 . Par contre, lorsque ce nombre est atteint, la définition correspondante est conservée ; une représentation binaire discrète de la répartition des discontinuités est élaborée, à partir de la représentation discrète de l'AMPLITUDE du GRADIENT, par dichotomisation de seuil 3 dans le premier cas et par simple recopie dans le second ; les composantes connexes de cette nouvelle représentation définissent les zônes de l'image, où seront cherchés un ou plusieurs objets à identifier après une délimitation plus précise dont le principe sera étudié au chapitre I-3 .

Pour suivre le déroulement de ce programme, il faut se reporter à la figure 5 pour l'essai A et à la figure 11 pour l'essai B . La définition initiale correspond à une trame de 5 × 5 points obtenus à partir de la trame initiale de 30 × 30 points par le saut de 5 lignes sur 6 et de 5 colonnes sur 6 . Dans l'essai A, la définition initiale est rejetée parce qu'elle correspond à 2 discontinuités seulement ; la trame de 15 × 15 points essayée ensuite est conservée : les 14 discontinuités correspondantes se groupent en 3 composantes connexes qui déterminent 3 bords distincts d'un même objet ; cet objet est ensuite plus précisément délimité par un procédé qui sera décrit plus loin (I-3-2) , à partir de l'une de ces trois composantes (figure 8) . Dans l'essai B , la définition initiale est également rejetée (2 discontinuités seulement) ; la trame de 15 × 15 points est conservée : les 45 discontinuités correspondantes se groupent en 6 composantes connexes dont 4 correspondent effectivement aux surfaces "géométriques" isolées par le procédé ; nous reviendrons sur l'interprétation des deux autres, à propos de l'analyse et de la discussion des résultats obtenus (voir paragraphe I-2-4) .

Programme utilisant les discontinuités pour le regroupement des cases couvrant un même objet .

Nous avons indiqué plus haut les raisons pour lesquelles l'exploration de l'image avec le "capteur 1ère version" était effectuée en plusieurs bandes se chevauchant les unes les autres . Même lorsque le format et la définition d'exploration se trouvent mieux adaptés aux photographies (cas du "capteur 2ème version" décrit plus loin) , il peut aussi arriver qu'on souhaite recourir à une définition supérieure en les analysant par zônes rectangulaires successives, disposées approximativement en damier mais se chevauchant les unes les autres ... Il est donc nécessaire de trouver une solution satisfaisante au problème du raccordement .

Choix de la méthode de raccordement .

Opérant par décalages horizotaux et verticaux systématiques d'une case de 72 × 36 points vis à vis de l'autre, nous avons essayé trois critères différents pour estimer la qualité du raccordement :

- on a tout d'abord utilisé la représentation binaire obtenue par dichotomisation de la gamme de niveaux de gris de l'enregistrement : les coïncidences étaient recherchées le long de la rangée de 36 points située en haut de la case inférieure . Même avec 20% de tolérance (7 anticoïncidences) , le raccordement s'est souvent trouvé rejeté, au cours de nos expériences ... pour tous les décalages essayés ; lorsqu'ils ne l'étaient pas, la précision obtenue n'était pas satisfaisante .

- on a également essayé d'effectuer le raccordement sur l'image binaire formée par les contours extraits de l'image à partir des GRADIENTS (on envisageait alors de faire précéder l'opération de raccordement des bandes... par l'extraction des contours effectuée séparément sur chacune d'elles) . Cette méthode n'a pas donné non plus satisfaction . En effet, du fait du très petit nombre de points des contours appartenant à la section de raccordement, la recherche de coïncidence s'est révélée très sensible au bruit de discrétisation (fluctuations des seuils de numérisation et de positionnement du spot au cours de l'analyse de l'image par le capteur) ainsi qu'aux imperfections du procédé de recherche de ces contours ...

- c'est finalement l'utilisation directe des niveaux de gris qui a été retenue . Leur coïncidence est repérée à + ou - 1 près, vis à vis de la rangée de 36 points situé en haut de la case inférieure . La figure 20 montre le résultat satisfaisant obtenu pour le raccordement de deux représentations fragmentaires d'une image numérisée selon une

échelle de 5 niveaux distincts ; la tolérance sur le nombre d'anticoïncidences était limitée à 10 % .

Principe de sélection et de groupement des cases supposées couvrir la représentation d'un ou plusieurs objets .

Au damier de disposition théorique des cases, nous avons associé une "matrice binaire indicatrice de la présence d'objets" dont les bits 1 repèrent les cases couvrant une partie de représentation d'objets et les bits 0 repèrent les cases vides . Précisons que la valeur 1 est donnée à un bit de cette matrice soit parceque la case correspondante comporte plus de 180 discontinuités (seuil choisi empiriquement pour les cases de 36 × 72 points), soit parceque la case correspondante est mitoyenne avec une telle case et qu'il y a au moins 2 discontinuités sur le côté frontière (minimum de points formant la section d'un coutour par une droite) .

A partir de la matrice ainsi obtenue, le programme regroupe les cases "1" voisines à fin d'essayer de les traiter comme si elles recouvraient un objet unique ...

L'essai C concerne le haut de la photographie de la figure 21 dont une représentation discrète, à définition réduite, est présentée à la figure 22 . Cette représentation discrète correspond à 3 lignes de 12 cases , elles-mêmes formées de 72 lignes de 36 points..., des sauts de lignes et de colonnes ont permis d'ajuster la définition aux possibilités de l'imprimante . La matrice indicatrice qui lui est associée est présentée à la figure 23 . Les groupements de cases sont effectués à partir de la connexion définie sur la matrice indicatrice considérée comme une représentation binaire discrète ; les groupes des cases correspondantes se trouvent inscrits dans des rectangles qui sont analysés ensuite séparément . C'est ainsi par exemple que le premier groupe de cases repérés par des "1" sur la matrice indicatrice de la figure 23 , se trouve représenté à différentes définitions sur la figure 24 . La méthode utilisée aux essais A et B est alors appliquée pour une localisation plus précise du ou des objets dont la représentation appartient à cette surface . La figure 25 montre l'objet qui a été ainsi localisé dans la zône précédente... et qui a été ensuite plus précisément délimité par une méthode qui sera présentée au chapitre 1 - 3 .

1 - 2 - 4 - Conclusions tirées de cette expérimentation et perspectives d'essais ultérieurs .

Les essais A et C ont montré l'efficacité de la méthode que nous proposons, lorsque les objets se détachent, avec un contraste suffisant, sur un "fond" assez uniforme ...

Dans le cas de l'essai A , toute la surface de la photographie, numérisée visuellement, était traitée en une seule fois : la localisation d'un objet résultait alors de la simple recherche des discontinuités de niveaux de gris obtenues à faible définition .

Dans le cas de l'essai C , la photographie avait été numérisée en plusieurs bandes d'exploration par le capteur ; la localisation des objets était cette fois-ci réalisée en deux étapes : le groupement des cases connexes couvrant un ou plusieurs objets, puis la localisation plus précise de chacun d'eux sur ces surfaces par la méthode précédente ...

L'essai B , relatif à des figures binaires numérisées visuellement, s'est révélé satisfaisant lorsque ces figures conservaient un nombre suffisant de points après la réduction de définition choisie par le programme ... Dans ce cas, notre procédé se ramène à la recopie successive des différentes composantes connexes qu'il sépare (vois paragraphes 1 - 3 - 2 - 2 -) .

Les résultats satisfaisants que nous venons de présenter ne doivent pas laisser supposer que le problème de la segmentation de l'image en objets à identifier se trouve résolu dans toute sa généralité . A notre avis, dès cette étape de traitement, il serait nécessaire de faire intervenir des informations extérieures à l'image, liées à l'identification de certains éléments et à la connaissance du contexte ... Nous espérons pouvoir aborder ainsi le problème ultérieurement, lorsque notre recherche sur l'utilisation du contexte sera plus avancée..., mais l'étude des possibilités de segmentation est poursuivie dans le cadre de ce mémoire à partir des seules informations comprises dans l'image : après avoir traité de la localisation approximative des objets, nous allons aborder dans le prochain chapitre la délimitation des surfaces couvertes par leur représentation .

## I - 3 - PROBLEME DE LA DELIMITATION DES OBJETS *(1/ - C)*

### I - 3 - I - DEFINITION DES CONTOURS D'OBJETS .

#### I - 3 - I - I - Notion de "fonction caractéristique associée aux objets représentés" .

A propos de la localisation des objets, nous avons été amenés à introduire au précédent chapitre la notion de "matrice indicatrice de la présence d'objets" (paragraphe I - 2 - 3) . Maintenant, pour poser le problème de la délimitation des objets, nous allons définir la notion de "fonction caractéristique associée aux objets représentés " sur l'image I (x,y) *(ou sa représentation discrète )* .

Cette fonction caractéristique f (x,y) [ou $f(P_{i,j})$] est telle que : f (x,y) = 1 [ou $f(P_{i,j}) = 1$] si le point (x,y) [ou $P_{i,j}$] peut être visuellement affecté à la représentation des objets qu'on cherche à identifier . f (x,y) = 0 [ou $f(P_{i,j}) = 0$] dans le cas contraire ; le point (x,y) [ou $P_{i,j}$] est alors dit appartenir au "fond" .

#### I - 3 - I - 2 - Rappel de la définition des contours d'une image binaire .

(ce paragraphe est emprunté à la thèse Marcel REYNAL p. 22 à 25 *(1-B-6 )*) .

"Une composante connexe peut être réduite à un seul point : on dit que c'est un point isolé .

Une composante C de $\theta$ et une composante C' de $\bar{\theta}$ sont dites adjacentes s'il existe un point a appartenant à C et un point a' appartenant à C' tels que :

$$d_2 (a,a') = 1$$

Un point a d'une composante de $\theta$ sera appelé point-frontière de $\theta$ lorsqu'il existe un point a' de $\bar{\theta}$ tel que :

$$d_2 (a,a') = 1$$

Cette définition s'écarte de la notion de point-frontière définie en topologie générale, dans laquelle un point de la frontière d'un ensemble n'appartient pas nécessairement à cet ensemble .

L'ensemble des points-frontières de C constitue la frontière de C..."

"Etant donnée une image binaire, partons d'un couple de points $(a,a_1)$ , où : $a \in \theta$ , $a_1 \in \bar{\theta}$ et tels que : $d_2 (a,a_1) = 1$ , a est un point-frontière de $\theta$ .

Numérotons tous les points à la $d_1$-distance 1 de a , en commençant par $a_1$, dans

le sens positif . Soient $a_2, a_3, \ldots, a_8$ ces points . Le premier de ces points, en partant de $a_2$ , qui appartient à $\theta$ sera le point de contour qui suit a , s'il existe. S'il n'existe pas, a est un point isolé de $\theta$ , et la contour se réduit à ce point .

Supposons qu'il existe, notons b ce point , De b , on déduit, en faisant jouer à b a le rôle du segment $a_1 a$ , un point c , et ainsi de suite, jusqu'au retour au premier point . Notons qu'un même point peut être rencontré plusieurs fois . La suite de points que l'on vient de définir constitue le contour extérieur de $\theta$ .

Tout point-frontière de $\theta$ appartient à au moins un contour et au plus à 4 .

Si on joint 2 à 2 les points successifs décrits et le dernier au premier, on obtient une ligne polygonale qui admet des points de coordonnées entières extérieurs et peut admettre des points de coordonnées entières intérieures . Ces points seront dits extérieur et intérieur au contour .

Deux contours C et C' sont identifiés quand C' se déduit de C en enlevant à C' à C' les points jusqu'à un certain rang, et en les plaçant à la fin de ceux qui restent, en conservant leur ordre (leurs ordres cycliques sont les mêmes) .

Deux contours peuvent être formés des mêmes points parcourus en sens inverses .

Si un contour $a_1, a_2, \ldots, a_p$ possède un point intérieur 0, la somme des angles : $\widehat{0a_1, 0a_2} + \widehat{0a_2, 0a_3} + \ldots + \widehat{0a_{p-1}, 0a_p} + \widehat{0a_p, 0a_1}$ vaut toujours $2\pi$ ou $-2\pi$ (résultat bien connu) . Dans le premier cas, le contour est dit de "sens positif" , dans le deuxième cas, de "sens négatif" .

Si l'image binaire ne contient qu'une seule composante, que nous notons $\theta$ , celui de ses contours qui est adjacent à la composante $E_0$ de $\bar{\theta}$ qui renferme le périmètre "...de l'image..." est le contour extérieur de $\theta$ . Les autres, s'il en existe, sont les contours intérieurs de $\theta$

Notons qu'avec la définition donnée, un contour extérieur, s'il contient au moins un point intérieur est toujours de sens positif ; et un contour intérieur, s'il contient un point intérieur, de sens négatif"...

"Dans le cas général, une image binaire se compose d'"objets" (composantes de $\theta$ ), ces "trous" pouvant contenir eux-mêmes de nouveaux "objets" , et ainsi de suite " .

I - 3 - I - 3 - Application à la définition des contours théoriques de chaque objet représenté ; présentation du problème de la délimitation des objets .

Sur la représentation discrète binaire en portant en chaque point de la trame la valeur de la fonction caractéristique définie plus haut (paragraphe I - 3 - I - I -)... les bits "1" correspondent à la surface couverte par les objets à identifier, selon les conclusions de l'observation visuelle .

Le premier but d'un processus automatique de délimitation est de déterminer une représentation discrète binaire aussi proche que possible de la précédente ; tous les procédés que nous allons présenter utilisent à cet effet l'extraction des contours, ou d'éléments de contours de la surface cherchée...

Le second but de la délimitation est d'effectuer, s'il y a lieu, sur chaque composante connexe ainsi obtenue, la séparation des surfaces couvertes par les représentations d'objets jointifs, d'objets se masquant partiellement les uns les autres et d'ombres portées... ; les contours obtenus par les procédés décrits ici, ainsi que les lois de la perspective (vois seconde partie, paragraphe 2 -I - 3 -)... peuvent aider à effectuer cette nouvelle discrimination qui est cependant beaucoup plus difficile parcequ'elle fait intervenir la signification : nous ne pouvons proposer d'autre solution pour l'instant que l'essai systématique des différentes segmentations possibles en vue de l'identification d'un ou plusieurs objets pertinents vis à vis du contexte connu ( voir seconde partie) .

## I - 3 - 2 - PREMIERE METHODE : UTILISATION DE L'OPERATEUR GRADIENT POUR L'EXTRACTION DES BORDS "CONTRASTES" ET DE L'OPERATEUR NIVEAU DE GRIS MOYEN POUR LA RECHERCHE DES SURFACES A ECLAIREMENT UNIFORME

### I - 3 - 2 - I - Description de la méthode .

Nous avons annoncé plus haut (paragraphe I - 2 - I -) que les discontinuités d'éclairement sur l'image I (x,y) correspondent à certains bords particulièrement "contrastés" appartenant aux contours d'objets qu'il s'agit de déterminer... La première idée qui vient à l'esprit est de caractériser les points de l'image appartenant à un bord "contrasté" par le fait que la valeur de L'AMPLITUDE DU GRADIENT en ce point dépasse un certain seuil. Dans la pratique, le choix de ce seuil n'est pas simple : s'il est trop élevé, seuls les bords très "contrastés" sont détectés, et aucun objet ne se trouve délimité par un contour fermé... ; s'il est trop faible, toute fluctuation introduite par les imperfections du procédé photographique ou de la numérisation effectuée par le capteur... entraine la sélection de points n'appartenant pas effectivement à un contour d'objet . En vue de trouver un compromis entre ces deux types d'inconvénients, voici comment nous avons procédé : le premier seuil $S_1$ adopté était celui qui avait servi au cours de la localisation des "objets" effectuée à définition réduite ; on lui comparait l'AMPLITUDE DE GRADIENT obtenue à définition normale, pour déterminer des points appartenant aux contours compris dans les surfaces définies par le procédé de localisation . Ensuite, à fin de compléter ces contours sans introduire trop de "points parasites" , on faisait passer le seuil à la valeur $S_2$ inférieure à $S_1$ puis on poursuivait cette recherche parmi les seuls points situés à une distance $d_1 = 1$ de ceux qui ont été trouvés antérieurement, perpendiculairement à la DIRECTION DU GRADIENT ... Plusieurs seuils $S_2$ pouvaient être essayés successivement.

Comme l'utilisation de l'opérateur GRADIENT ne permet pas l'extraction des bords "en dégradés" , nous avons de plus imaginé de compléter les contours d'objets à partir de l'utilisation des surfaces à éclairement uniforme dont la représentation discrète binaire est adjacente aux bords obtenus par le procédé que nous venons de décrire .

I - 3 - 2 - 2 - Résultats obtenus au cours de l'expérimentation

L'essai A du chapitre précédent a été poursuivi par la méthode que nous venons de décrire ; la figure 10 montre les délimitations obtenues, à partir du premier groupe de discontinuités trouvé au cours de la localisation, avec des diminutions du seuil ( $S_1 - S_2$) respectivement égales à 1 et à 2 . La même délimitation a été également obtenue à partir des deux autres groupes de discontinuités... ceci s'explique par le fait que la représentation binaire de la surface à niveau de gris égal à 3 ... qui est utilisée ici, se trouve adjacente à chacune des trois composantes connexes de la représentation des discontinuités .

L'essai B a été également poursuivi par cette méthode qui se ramène, dans le cas d'images binaires comme celles qui étaient traitées dans cet essai, au simple isolement des composantes connexes...

L'essai C n'a pas été poursuivi au delà du calcul de l'AMPLITUDE DU GRADIENT ; sur la figure 26 , on peut constater que pour cet objet, il serait possible d'obtenir le contour extérieur complet en choisissant la valeur 2 pour le seuil $S_1$... malheureusement, de nombreux "points parasites" apparaitraient, soit isolés, soit groupés le long des raccordements des cases d'exploration, dont les imperfections se trouvent ainsi mises en évidence... Cet inconvénient serait par contre évité si on utilisait le seuil 3 pour déterminer certains éléments du contour qui sont ainsi décelables ; la surface à niveau de gris égal à 1 sur la figure 28 , pourrait alors très bien être choisie par notre procédé, pour la délimitation complète... puisque sa représentation binaire est adjacente aux éléments de contours précédents . Le contour extérieur de l'objet serait donc ainsi correctement obtenu, le contour intérieur se trouverait par contre complètement éliminé par le "lissage" effectué par l'opérateur NIVEAU DE GRIS MOYEN .

I - 3 - 2 - 3 - Moyens techniques utilisés .

On se reportera au paragraphe I- 2 - 3 - du chapitre précédent pour la description du capteur multiniveaux "1ère version" utilisé pour l'essai C , du programme utilisé pour les essais A et B et du programme utilisé pour l'essai C .

I - 3 - 2 - 4 - Conclusions

Les résultats obtenus au cours de l'essai A sont satisfaisants ; cet essai a cependant l'inconvénient d'éliminer a priori beaucoup de difficultés qui se présentent dans le cas général : la numérisation de l'image à partir de l'estimation visuelle élimine en effet toutes les causes de fluctuations parasites... ; d'autre part, il se trouve que les différentes faces de l'objet délimité correspondent à des éclairements suffisamment voisins pour correspondre à des niveaux de gris égaux selon l'échelle de numérisation adoptée ...

Nous avons montré d'autre part, à propos de l'essai C du chapitre précédent, que des résultats valables auraient également pu être obtenus sur cet exemple, pour la délimitation d'un objet dont la face principale se trouve très uniformément éclairée... ; la photographie avait été cette fois numérisée à l'aide du capteur "Ière version" .

On peut conclure que d'après les essais A et C , la meilleure stratégie à adopter est la suivante :

- pour la recherche des bords "contrastés" à partir de l'AMPLITUDE du GRADIENT calculée sur la représentation discrète des niveaux de gris... ; utiliser un seuil suffisamment élevé pour que les discontinuités isolées soient rares .

- pour la recherche des faces de l'objet, dont la représentation binaire est adjacente aux bords "contrastés" précédents, utiliser la représentation discrète binaire des discontinuités de l'image, le programme doit essayer systématiquement toutes les valeurs du niveau de gris moyen : plusieurs surfaces à éclairement moyen uniforme peuvent ainsi être délimitées à partir de chaque bord . Cette délimitation ne pourra correspondre à la délimitation d'une face de l'objet que si celle-ci est effectivement éclairée en moyenne uniformément... D'autre part, si le bord considéré est un bord "extérieur" de l'objet, l'une de ces surfaces au moins ne fait pas partie de la représentation de l'objet . Dans le cas général, il ne parait pas possible de préciser quelles sont ces surfaces extérieures à l'objet sans faire intervenir des informations autres que celles qui peuvent être prélevées sur l'image... Par contre, dans le cas particulier où on sait que tous les objets représentés sur le cliché analysé se détachent sur un "fond" à éclairement moyen uniforme et sont cadrés à l'intérieur d'un rectangle sans point commun avec le périmètre de la photographie... ; les surfaces extérieures à l'objet peuvent être repérées par comparaison de leur niveau de gris moyen avec celui des points

voisins de ce périmètre .

## I - 3 - 3 - SECONDE METHODE : UTILISATION DES OPERATEURS DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES ET DETECTEUR DE BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES

### I - 3 - 3 - I - Description de la méthode

Nous venons de voir que la méthode précédente n'est vraiment efficace que pour des clichés remplissant certaines conditions particulières :

- ou bien les contours d'objets sont suffisamment contrastés pour que leur délimitation complète se fasse à partir de la seule utilisation des résultats obtenus par l'application de l'opérateur GRADIENT à la représentation discrète de l'image...

- ou bien les objets ont leurs faces uniformément éclairées, se détachent sur un "fond" lui-même uniformément éclairé...et ne touchent pas le périmètre de la photographie. (Cela suppose en particulier qu'il n'y a pas d'ombres " en dégradés" formées à partir de sources lumineuses non ponctuelles...) .

C'est parce que cette méthode n'est pas d'une portée assez générale, que nous avons mis au point la seconde méthode que nous présentons maintenant : nous avons cherché cette fois à obtenir les contours complets de chaque objet à partir de la réunion de bords "contrastés" et de bords "en dégradés" détectés par des opérateurs distincts . Avant d'être conduits à l'utilisation des opérateurs DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES et DETECTEUR DE BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES, tels qu'ils sont définis aux paragraphes I-I-3-4 et I-I-3-5 , nous avons effectué un certain nombre de travaux d'approche parmi lesquels il faut situer le premier essai que nous allons décrire .

ESSAI D : Notre objectif initial, en 1971, lorsque nous avons effectué cet essai, était de savoir s'il était possible de délimiter les faces d'objets planes et parallèles au plan de la photographie...à partir de l'uniformité de la répartition statistique des éclairements définie par la rugosité propre à la surface de l'objet et l'angle sous lequel celui-ci est éclairé . Cette idée nous a conduit à introduire la notion de "texture locale" déduite de l'application, en chaque point de la représentation discrète de l'image, de l'opérateur TEXTURE défini au paragraphe I-I-3-3 . Les premiers résultats obtenus nous ayant montré l'existence de fortes fluctuations de la "texture locale" , apparemment sans signification...nous avons cherché à les éliminer en

recourant à la "moyenne locale de la texture" obtenue en appliquant successivement à la représentation discrète de l'image, l'opérateur TEXTURE puis l'opérateur NIVEAU DE GRIS MOYEN ... Nous verrons au paragraphe I-3-3-2 que, même en procédant ainsi, nous n'avons pas obtenu les résultats attendus ; par contre, en permutant les deux opérateurs précédents, nous avons mis en évidence l'efficacité de la "texture du niveau de gris moyen" pour l'extraction des bords "en dégradés" : c'est ce résultat important qui a orienté le choix des opérateurs utilisés par la suite .

ESSAI E : Il s'agissait ici d'essayer de compléter les contours obtenus avec le DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES par ceux qui sont mis en évidence par le DETECTEUR DE BORDS SEPARANT DES ZONES A REPARTITIONS STATISTIQUES DIFFERENTES DES ECLAIREMENTS . La réunion des représentations discrètes binaires correspondantes conduit à une première représentation des contours d'objets ; cette représentation est assez grossière en ce sens qu'elle ne coïncide pas avec la représentation d'un tracé précis de délimitation effectué sur la photographie... Pour atteindre ce but, il faut effectuer la réduction à la représentation de tracés d'épaisseur constante dont il importe de conserver les propriétés de connexion, selon les règles énoncées au chapitre I-I-4 : c'est le rôle du procédé de "squelettisation" *(1/-D)* dérivé de celui qui fut introduit sous ce nom par GRASSELLI puis O. PHILBRICK *(1/-D-1)* (figure 29 ) . Cet auteur propose d'opérer de la façon suivante : pour chaque composante connexe de la représentation binaire, on simule la propagation d'une "onde" pas à pas, à partir des différents points de la frontière... et ce sont les points de rencontre de ces "ondes" qui sont considérées comme appartenant au "squelette" de la composante connexe traitée . Pratiquement, nous avons préféré opérer colonne par colonne et ligne par ligne, et attribuer au "squelette" 2 points voisins du milieu des sections correspondantes de la composante connexe formée par la représentation initiale de chaque contour ; on pourra vérifier sur les listages obtenus que la connexion de la représentation initiale est bien conservée après "squelettisation" .

ESSAIS F et G . A fin de mieux mettre en évidence l'efficacité de chacun des détecteurs utilisés, on a repris les essais en faisant agir séparément chacun d'eux et sans procéder à la réunion prévue pour l'exploitation courante du procédé . L'essai F correspond au DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES seul et l'essai G au DETECTEUR DE BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES dont la conception découle des conclusions de l'essai D .

I - 3 - 3 - 2 Résultats obtenus au cours de l'expérimentation .

ESSAI D : Cet essai a été réalisé à partir de la photographie de la figure 30 qui représente des échantillons de rabannes et de papiers peints dont les "textures" caractéristiques nous ont paru intéressantes à exploiter . La numérisation a été effectuée suivant une échelle de 10 niveaux de gris, par le "capteur 1ère version". La figure 31 représente le niveau de gris moyen et la texture locale sur une représentation fragmentaire, couvrant les deux échantillons de rabanne superposés , en haut et à droite du cliché de la figure 30 . On voit sur la figure 32 que les valeurs obtenues pour la moyenne locale de la texture ne sont pas assez uniformes pour caractériser chacune des trois zônes de l'image que l'oeil distingue facilement sur la représentation des niveaux de gris moyens . Tel est le résultat négatif que nous avons annoncé plus haut : des fluctuations parasites incontrôlables de la moyenne locale de la texture s'opposent à l'utilisation de cette technique de délimitation des faces d'objets .

Par contre, la figure 33 nous montre tout l'intérêt qu'il y a à utiliser la texture du niveau de gris moyen pour détecter les bords à niveaux de gris dégradés : il suffit pour s'en convaincre de comparer les valeurs obtenues pour cette grandeurs sur les contours de l'échantillon n° 1 (niveau de gris moyen dégradé) à celles qui sont obtenues sur les contours de l'échantillon n° 2 (niveau de gris moyen rapidement variable). Nous avons insisté plus haut sur l'importance de cette constatation et sur le rôle qu'elle a joué dans le choix des opérateurs utilisés dans les essais dont nous allons maintenant présenter les résultats .

ESSAI E : Cet essai a été réalisé à partir des photographies des figures 34 et 46 qui représentent des objets isolés sur différents fonds . Ces photographies ont été numérisées selon une échelle de 32 niveaux de gris par le "capteur 2ème version" décrit plus loin ; à fin de ne traiter que les parties de l'image correspondant à des objets, nous avons sélectionné visuellement certaines cases définies à partir d'une grille de 10 × 10 superposée au cliché : on remplaçait ainsi la trame de 240 × 360 points couvrant toute l'image par des groupements de plusieurs trames de 24 × 36 points ne saturant pas la mémoire de la 3 600 C D C ; ces groupements correspondent à des représentations discrètes présentées aux figures 35,40,42 et 44, pour la première photographie et à la figure 47 pour la seconde ; les contours d'objets obtenus par la machine selon notre procédé sont présentés respectivement aux figures 39,41, 43, 45 et 51 . Les seules ruptures de connexion observées sur ces figures sont

celles qui correspondent aux cadres des cases de la grille de sélection, ce qui était à prévoir puisque les opérateurs utilisés n'y sont pas définis (2 colonnes et 2 lignes de part et d'autre de l'image ou d'une case de celle-ci se trouvent négligées à chaque nouvelle utilisation d'un opérateur...). A cette réserve près, qui est liée à la puissance limitée du calculateur alors utilisé, les résultats obtenus sont donc tout à fait satisfaisants pour les clichés que nous avons traités .

ESSAI F : Le calculateur 3 600 C D C s'étant trouvé remplacé au C.I.R.C.E. par une I B M 370 , nous avons pu reprendre nos essais en traitant directement une trame associée à l'image complète . Cette trame de 120 × 120 points est déduite de la trame initiale d'enregistrement ( 240 × 240 points) par sauts d'une ligne sur deux , et de deux colonnes sur trois . Les figures 53,58,63 et 68 montrent les représentations discrètes ainsi obtenues respectivement pour les photographies des figures 52, 57, 62 et 67 . Les contours obtenus à l'aide du seul opérateur DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES sont représentés aux figures 56,61, 66 et 71 avec des définitions horizontales et verticales réduites de moitié ; leur épaisseur, obtenue par squelettisation, est bien toujours de deux points dans les deux sens en l'absence de cette réduction de définition ... Ces résultats sont parfaitement satisfaisants pour les trois premières photographies ; pour la quatrième, le procédé n'a pas été capable d'extraire les contours du clocher : en décidant de ramener au blanc (niveau 31) les niveaux supérieurs à 8, avant l'exécution de notre programme, nous avons pu corriger ce défaut ainsi qu'on peut le voir sur la figure 74 .

ESSAI G : Nous avons repris avec l'I B M 370 le traitement des divers clichés avec le seul opérateur DETECTEUR DE BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES . Dans la plupart des cas cet opérateur donne une faible contribution à l'extraction des contours vis à vis de celle de l'opérateur DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES utilisé à l'essai précédent ; il est cependant intéressant de l'utiliser pour compléter les bords dans les ombres, comme le montrent les résultats présentés à la figure 76 pour une fraction de la photographie de la figure 34 (représentation discrète à la figure 75) et à la figure 77 pour la photographie de la figure 67 .

I - 3 - 3 - 3 - Moyens techniques utilisés

- Capteur multiniveaux "2ème version" .

La seconde version du capteur du R.A.M.I. a été réalisée par MM. RIVAILLIER, SAUSSOL et CRETTEZ, à partir de l'expérience acquise dans la numérisation des images avec le capteur "1ère version" . Le principe utilisé est toujours celui du flying-spot, mais, cette fois ci, les balayages sont électroniques dans les deux sens . La surface explorée est un rectangle de 24 × 36 millimètre . Le dispositif étant prévu pour l'exploration de documents transparents (diapositives ou films 16 millimètre), le photomultiplicateur recueille cette fois ci la lumière par transmission . L'image formée par l'image du spot est approximativement circulaire . Ses dimensions sont toujours de l'ordre du micron et la lumière décroit à partir du centre . Le nombre de lignes et de colonnes de la trame peuvent être choisis par affichage, ainsi que le nombre d'échelons couvrant la gamme des niveaux de gris du cliché .

- Programme utilisé pour l'essai D :

Au cours d'une première itération, le programme calcule simultanément le niveau de gris moyen et la texture en chaque point de la représentation discrète . La figure 31 présente les résultats obtenus pour un fragment de la photographie de la figure 30 .

Lorsqu'il sagit d'analyser la répartition de la texture moyenne sur la surface de l'image, le programme calcule, au cours de la seconde itération, la texture moyenne ainsi que la texture de la texture ... par application des opérateurs NIVEAU DE GRIS MOYEN et TEXTURE à l'image de texture obtenue précédemment . Les résultats ainsi obtenus pour le même fragment de photographie sont présentés à la figure 32 .

Lorsqu'il sagit de rechercher les bords d'objets à niveaux de gris dégradés, le programme calcule cette fois ci, au cours de la seconde itération, d'une part la moyenne du niveau de gris moyen et d'autre part sa texture... par application des opérateurs NIVEAUX DE GRIS MOYEN et TEXTURE à l'image de niveau de gris moyen obtenue à la première itération . les résultats correspondants pour le même fragment de photographie sont présentés à la figure 33 .

- Programme utilisé pour l'essai E :

Cet essai avait pour but de vérifier la possibilité d'extraire l'ensemble des contours d'un objet, quel que soit le contraste correspondant ... tout en évitant les

ruptures de connexion . Le programme utilisé, avant de procéder à la squelettisation, effectuait la réunion des points obtenus d'une part au moyen du DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES et d'autre part au moyen du DETECTEUR DE BORDS SEPARANT DES ZONES A REPARTITIONS STATISTIQUES DIFFERENTES . Ce programme traitait séparément différentes cases de 24 × 36 points sélectionnées par un programme antérieur à partir de la donnée de leurs adresses définies, comme on l'a précisé plus haut, par une observation visuelle du cliché à travers une grille de 10 × 10 cases . Ces programmes, de même que celui de l'essai D , étaient exploités sur calculatrice C D C 3 600 . Les figures 36 à 39 montrent les différents résultats obtenus au cours des calculs effectués par ce programme à partir de la représentation discrète de la figure 35 .

- Programme utilisé pour l'essai F et pour l'essai G :

Le programme précédent a été adapté au traitement sur I B M 370 d'une trame de 120 × 120 points déduite de la trame initiale d'enregistrement de l'image ( 240 × 360 points) par sauts de lignes et de colonnes . De plus, à fin d'analyser séparément l'efficacité de différents opérateurs de détection de bords, on a rendu leur choix optionnel et supprimé provisoirement la possibilité de réunion des différents contours ainsi obtenus .

Pour l'essai F , l'opérateur choisi est le DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES . Les résultats intermédiaires peuvent être consultés, pour la photographie de la figure 52 , aux figures 54 et 55 , pour la photographie de la figure 57, aux figures 59 et 60 , pour la photographie de la figure 62, aux figures 64 et 65 , enfin pour la photographie de la figure 67, aux figures 69 et 70 , ou 72 et 73 pour les essais d'écrêtage initial des niveaux de gris .

Pour l'essai G , l'opérateur choisi est le DETECTEUR DE BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES . Pour le traitement d'un fragment de la photographie de la figure 34 , les résultats intermédiaires sont présentés sur la figure 76 .

I - 3 - 3 - 4 - Conclusions

L'essai D visait à préciser comment exploiter la texture des différentes faces d'un objet, lorsque celui-ci est assez proche pour que celle-ci soit perceptible . La délimitation de surfaces de l'image correspond à une texture uniforme s'est révélée inopérante . Par contre, nous avons mis en évidence l'intérêt qu'il peut y avoir à utiliser la texture du niveau de gris moyen pour détecter les bords caractérisés par un

niveau de gris en dégradés . Cette constatation est a l'origine de la définition de l'opérateur utilisé au cours de l'essai G .

L'essai E , effectué sur certaines zônes de l'image choisies visuellement, était destiné à voir s'il est possible d'obtenir des contours complets d'objets (sans rupture de la connexion) par l'utilisation simultanée du DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES et du DETECTEUR DE BORDS SEPARANT DES ZONES A RÉPARTITION STATISTIQUES DIFFERENTES DES ECLAIREMENTS . Les résultats obtenus ont été en général satisfaisants, mais la participation du second détecteur semble relativement rare . Pour mieux analyser l'efficacité propre à chacun des différents détecteurs essayés, nous avons de ce fait renoncé provisoirement, pour les essais suivants, à les utiliser simultanément...

L'essai F , appliqué à des photographies complètes, utilisait le seul DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES ; il a donné de bons résultats à chaque fois que les objets présentaient des niveaux de gris suffisamment tranchés vis à vis du fond ; ce fut le cas en particulier pour des monuments et une statue se détachant sur le ciel... Dans le cas contraire, on a pu plusieurs fois se ramener à cette situation en définissant des seuils s'écrêtage ramenant au blanc ou au noir certaines gamme de niveaux de gris extrêmes choisies par l'expérimentateur ; cette solution a évidemment l'inconvénient de faire intervenir celui-ci dans la ségrégation des formes ...

L'essai G , appliqué à la fois à des fragments d'image à haute définition et à des photographies complètes (représentations discrètes listées à définition réduite)... nous a permis de constater que l'opérateur DETECTEUR DE BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES n'apporte en général qu'une faible contribution à l'extraction des contours, mais qu'il est très efficace pour compléter ceux-ci dans les ombres . Nous expliquons ce résultat intéressant par le fait que les dégradés d'une photographie correspondent à la partie non saturée de la courbe de sensibilité de l'émulsion photographique .

### I - 3 - 4 - TROISIEME METHODE : UTILISATION DES OPERATEURS TRADUISANT LE FONCTIONNEMENT DES NEURONES DE LA VOIE OPTIQUE SPECIFIQUE CHEZ LES MAMMIFERES SUPERIEURS D'APRES LES EXPERIENCES DE HUBEL ET WIESEL *( A / - 2 )*

I - 3 , 4 - 1 - Description du principe de la simulation .

Il se trouve que les connaissances physiologiques sur le fonctionnement des voies optiques spécifiques chez les mammifères supérieurs sont actuellement assez précises pour qu'il soit possible de simuler le processus correspondant d'extraction

des contours à partir de l'image rétinienne . C'est aux travaux de HUBEL et WIESEL qu'on doit la mise en évidence de la détection de propriétés locales spécifiques par les neurones à "champs réceptifs" spécialisés qu'ils ont repérés sur le nerf optique, le corps genouillé et les trois aires du cortex visuel... Le principe de leurs expériences effectuées par implantation de microélectrodes unitaires, ainsi que les résultats qu'ils ont obtenus, sont rappelés succintement à l'annexe A - 2 - 2 . Précisons simplement ici que l'intérêt d'une telle simulation est tout d'abord lié au fait qu'il n'est par possible d'implanter simultanément un grand nombre de microélectrodes pour observer directement les pattern répondant à telle ou telle image . Du point de vue du traitement automatique des photographies, il nous a paru d'autre part intéressant de comparer, pour les mêmes clichés (numérisés dans les mêmes conditions) , les résultats obtenus par simulation à ceux qui ont été décrits plus haut .

Nous allons maintenant préciser la nature des opérateurs qui traduisent le fonctionnement des ganglionnaires, des cellules du corps genouillé et, pour les différentes directions, des cellules à champ réceptif "simple" du cortex [1] . Ces trois types d'opérateurs sont appliqués en chaque point des représentations discrètes successivement obtenues à partir de la représentation discrète initiale du cliché .

Opérateur simulant le fonctionnement des ganglionnaires de type "ON" :

Le niveau de sortie [2] est obtenu en chaque point de la représentation discrète par une opération de corrélation [3] avec le masque de poids suivant qui représente les actions excitatrices et inhibitrices de leur champ réceptif à symétrie de révolution :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | - 1 | - 1 | -1 | |
| - 1 | - 2 | 3 | - 2 | - 1 |
| - 1 | 3 | 8 | 3 | - 1 |
| - 1 | - 2 | 3 | - 2 | - 1 |
| | - 1 | - 1 | - 1 | |

[1] Nous n'avons pas abordé la simulation du fonctionnement des cellules à champ réceptif "complexe" ni des cellules à champ réceptif "hypercomplexe" ; leur spécificité nous a paru en effet trop grande pour qu'il soit possible actuellement de les intégrer dans un modèle général de traitement des images ...

[2] Notre modèle ne tient pas compte des imperfections de la conversion fréquence/amplitude effectuée par les synapses : les fréquences axonales sont assimilées à des niveaux de sortie .

[3] La notion de corrélation est ici applicable, à condition de remplacer par des sommes finies les intégrales de la définition classique ..

Opérateur simulant le fonctionnement des cellules du corps genouillé de type "ON" :

Le niveau de sortie[2] est obtenu en chaque point de la représentation discrète par une opération de corrélation[3] avec un masque de poids analogue au précédent, mais couvrant un voisinage plus étendu, car le diamètre des champs réceptifs des cellules du corps genouillé est approximativement double de celui des champs réceptifs des ganglionnaires...

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | -1 | 0 | -1 | 0 | -1 | | |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| -1 | 0 | -2 | 0 | 3 | 0 | -2 | 0 | -1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -1 | 0 | 3 | 0 | 8 | 0 | 3 | 0 | -1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -1 | 0 | -2 | 0 | 3 | 0 | -2 | 0 | -1 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | | -1 | 0 | -1 | 0 | -1 | | |

Notes : voir page précédente .

Opérateur simulant le fonctionnement des cellules du cortex à champ réceptif "simple" du type "Barre lumineuse".

Pour chacune des 16 directions 0, $\pi/16$,..., 15 $\cdot \pi/16$, il existe un opérateur tel que le niveau de sortie [2] est obtenu en chaque point de la représentation discrète par une opération de corrélation [3] avec le masque correspondant dont la plus grande dimension couvre un voisinage environ 5 fois plus étendu que le diamètre du champ réceptif des cellules du corps genouillé ; voici l'opérateur correspondant à la direction 0, les autres s'en déduisent par rotation... :

```
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
-4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
-6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0 0I0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
-6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0 -6  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
-4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0 -4  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
```

Notes : voir pages précédentes .

I - 3 - 4 - 2 - Résultats obtenus au cours de l'expérimentation (essai H) .

Nous avons traité avec notre programme de simulation de la vision les clichés des figures 52, 57, 62 et 67 (dont les représentations discrètes sont présentées aux figures 53, 58, 63 et 68) à fin de permettre la comparaison des résultats à ceux de l'essai F .

On trouvera la représentation discrète des contours obtenus :

- aux figures 78,81, 84 et 87 pour la sortie des ganglionnaires,
- aux figures 79, 82, 85 et 88 pour la sortie des cellules du corps genouillé,
- aux figures 80, 83, 86 et 89 pour la détection de direction déduite de la comparaison des sorties des différentes cellules à champ réceptif "simple" du cortex .

I - 3 - 4 - 3 - Moyens techniques utilisés .

- Capteur .

Nous avons utilisé les mêmes enregistrements, obtenus avec le capteur "2ème version" du R.A.M.I..., que pour l'essai F .

- Programme utilisé pour l'essai H :

Le programme de simulation de la voie optique spécifique des mammifères supérieurs comprend le traitement de la représentation discrète de la photographie par les ganglionnaires, puis le traitement de la représentation ainsi obtenue par les cellules du corps genouillé et enfin le traitement de cette troisième représentation par les différentes cellules à champ réceptif "simple" du cortex correspondant aux différentes directions . Les contours qui apparaissent sur la seconde et sur la troisième représentation sont matérialisés par les points dont le niveau de sortie est supérieur à un certain seuil ; le codage hexadécimal des contours qui apparaissent sur la dernière représentation obtenue, traduit en chacun de leurs points l'orientation de la tangente, déduite de la recherche de la cellule à champ réceptif "simple" dont le niveau de sortie est maximum .

I - 3 - 4 - 4 - Conclusions

Du point de vue de la modélisation, nous devons faire un certain nombre de réserves..., tout en rappelant que l'intérêt d'un tel outil de recherche est dans ses possibilités de perfectionnement :

- Tout d'abord il faut rappeler qu'on doit être prudent quant à l'extrapolation à l'homme de résultats expérimentaux obtenus sur l'animal...

- D'autre part, ce modèle suppose que la prise d'information optique est effectuée au repos, c'est-à-dire pendant une période de fixation et non pendant la saccade ... Cette hypothèse généralement admise est parfois remise en question ; le fait que les cellules à champs réceptifs "complexes" et "hypercomplexes" ne répondent qu'au mouvement peut en effet conduire à l'idée d'une prise d'information au vol ...

- Enfin, ce modèle ne concerne que la prise d'information par la fovéa et par la péri-fovéa ... et non celle de la rétine périphérique qui joue certainement un rôle très important dans l'élaboration de la saccade d'exploration oculaire . Nous attendrons donc l'aboutissement de recherches en cours sur ce sujet, pour inclure notre modèle dans un modèle plus général traduisant ce phénomène ainsi que le raccordement des images obtenues sur la fovéa .

Du point de vue du traitement, on peut constater que les contours obtenus sont sensiblement aussi complets que ceux que nous avons fait apparaitre à l'essai F, à partir de considérations purement analytiques . On peut dire a priori que l'accroissement de surface des champs réceptifs au cours des traitements successifs se trouve favorable à l'élimination du bruit, mais les données expérimentales décrites ne permettent pas de fixer la valeur numérique des seuils, ce qui serait nécessaire pour juger la simulation à ce sujet; du point de vue pratique, il semble qu'à condition de faire un choix convenable de ces seuils, on puisse se passer sans inconvénient majeur de l'opération simulant le fonctionnement des cellules du corps genouillé . La dernière opération assure par contre un codage des contours obtenus tout à fait analogue à celui proposé par FREEMAN (paragraphe 2 - 1 - 1 - 1 -), bien connu des spécialistes de reconnaissance automatique de formes .

# CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

La méthode de localisation des objets que nous avons présentée au chapitre I -2- peut être très utile lorsque le cliché comporte des zônes signifiantes assez dispersées sur un fond assez uniforme . Dans les autres cas, si la définition est suffisante pour la description des détails caractéristiques de chaque objet..., on pourra traiter directement l'image complète par l'un des trois procédés de délimitation des objets du chapitre I - 3 -.

Le premier procédé décrit au chapitre I - 3 - n'est guère applicable qu'à des objets dont les faces sont éclairées uniformément et dont le niveau de gris tranche sur le fond ... Le second procédé est par contre satisfaisant dans la plupart des cas ; nous avons montré en particulier comment il permet de compléter les bords facilement extraits par le DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES, grâce au DETECTEUR DE BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES qui est efficace dans les ombres et au DETECTEUR DE BORDS SEPARANT DES ZONES A REPARTITIONS STATISTIQUES DIFFERENTES DES ECLAIREMENTS qui permet d'exploiter les variations de texture ... Le troisième procédé qui résulte de la simulation du processus visuel équivalent, se trouve être à peu près aussi efficace que le précédent, en tous cas en ce qui concerne les bords contrastés .

## 2/ DEUXIEME PARTIE

IDENTIFICATION DES OBJETS REPRESENTES A PARTIR DES PROPRIETES INTRINSEQUES DE L'IMAGE ET DE L'EXPRESSION SYSTEMATIQUE DU CONTEXTE EXTERIEUR A CELLE-CI, MAIS CONNU A PRIORI.

## 2 - I - UTILISATION DES PROPRIETES INTRINSEQUES DE L'IMAGE

### 2 - I - I - PROPRIETES DES CONTOURS (2 / - A)

Dans la première partie, nous avons montré comment se pose le problème de la délimitation des surfaces couvertes sur l'image par la représentation des divers objets qu'il s'agit d'identifier . Nous avons proposé plusieurs méthodes de détermination des contours correspondants, tout en précisant leurs limites d'application... Du point de vue de l'identification des objets, nous nous intéresserons maintenant à l'ensemble des contours susceptibles de représenter des arêtes, des ombres,... ou des changements de propriétés de surface correspondant par exemple à divers matériaux ; il existe cependant pas de méthode différente des précédentes pour l'obtention de ces contours à partir des seules propriétés de l'image, car, celles-ci ne permettent pas de distinguer, dans tous les cas, les faces d'un objet du "fond" sur lequel il apparait ( voir les réserves que nous avons faites à ce sujet au chapitre I - 3 -) .

#### 2 - I - I - I - Approximation des contours par des chaines de segments .

A partir des "contours squelettisés" obtenus en représentation discrète, par l'un des procédés définis dans la première partie, il s'agit d'élaborer un nouveau schéma des tracés correspondants, mais cette fois ci dans le plan de l'image . Nous avons utilisé pour cela des chaines de segments, parce qu'une courbe quelconque peut être approchée par une telle chaine ... quelle que soit la précision qu'on s'est fixé ; cette schématisation a d'autre part l'avantage de faciliter le codage des contours lorsqu'on veut les comparer à des contours types (principe du codage de FREEMAN rappelé dans la thèse de Marcel REYNAL, page 28 ( 1 / - B - 6)); mais surtout, elle permet la reconnaissance éventuelle des formes géométriques simples auxquelles les contours peuvent souvent être assimilés, surtout lorsque les objets représentés sur le cliché analysé sont de fabrication humaine ... Pour les recherches décrites dans cette seconde partie, nous nous sommes limités aux cas où il est raisonnable de penser qu'il en est ainsi, comme par exemple lorsqu'il s'agit d'identifier des éléments architecturaux ...

##### 2 - I - I - I - I - Méthode employée

( Le principe général de l'algorithme que nous présentons ici nous a été suggéré par le Professeur René de POSSEL ) .

On envisage successivement chacune des composantes connexes (au sens de la

définition donnée au paragraphe I.- I - 4 - 2 ) de la représentation discrète des contours "squelettisés", obtenue à partir du cliché par une des méthodes décrites dans la première partie .

- Algorithme utilisé pour la schématisation du contour de la surface couverte par l'objet (et son ombre portée si elle existe) .

A / Pour déterminer l'origine 0 du premier segment de la chaine, explorer la représentation discrète, colonne par colonne, et choisir le premier point rencontré appartenant à la composante connexe envisagée .

B / Chercher tout d'abord s'il existe, sur la colonne suivant celle de 0 , des points de contours formant une composante connexe à 0 et dont l'ordonnée maxima (minima lorsque le sens d'exploration de la trame est inversé) présente un écart supérieur à 2 vis à vis de celle de 0 ; s'il en est ainsi, l'autre extrémité E du segment vertical correspondant a pour abscisse celle de 0 et pour ordonnée l'ordonnée maxima précédente; aller en D / ; dans le cas contraire, le segment suivant n'est pas vertical : pour déterminer son autre extrémité, calculer l'écart angulaire $\widehat{OP_I , OP_2}$ pour les sections $P_I P_2$ de la composante connexe atteintes les premières par l'exploration de chacune des colonnes suivantes ... (figure 90) . Continuer tant que l'angle décroit ou reste constant . Revenir en arrière d'un pas, lorsqu'il commence à croitre . L'extrémité E du segment OE est située, dans le plan de l'image, à l'intersection de cette colonne de la trame et de la bissectrice de l'angle $\widehat{OP_1 , OP_2}$ correspondant .

C / Remplacer 0 par le point 0' suivant de la section verticale de la composante connexe, sur laquelle il se trouve . Retourner en B / pour trouver l'extrémité E' correspondante . Si l'angle $\widehat{0'P'_I , 0'P'_2}$ est inférieur à l'angle $\widehat{OP_I, OP_2}$ trouvé pour E à l'itération précédente, remplacer O par O' et E par E' . Continuer à retourner en B/ jusqu'à épuisement des points de la composante connexe situés sur la colonne O,O',... Les points O et E sont alors définitivement déterminés

D / Pour la recherche des autres segments, fixer l'origine O au point de la trame le plus voisin de l'extrémité E du dernier segment trouvé . S'il existe encore des coupes verticales de la composante connexe à droite de O, retourner en B/ . Dans le cas contraire, inverser les sens de progression sur la trame d'analyse (avance pas à pas des colonnes de la droite vers la gauche et parcours de chaque colonne de bas en haut) : - si la distance cartérienne de O à l'origine $O_1$ du premier segment est

supérieure à 2 (épaisseurs verticale et horizontale choisies pour la "squelettisation"), retourner en B / .

dans le cas contraire, remplacer E par $0_1$ . Le contour de la surface couverte par l'objet (y compris son ombre portée si elle existe) se trouve alors schématisé par une chaine fermée de segments .

Adaptation de l'algorithme précédent à la schématisation de tous les contours, y compris les arêtes intérieures à la surface couverte par l'objet (et son ombre portée si elle existe) .

Rappelons tout d'abord des définitions introduites par le professeur René de POSSEL *(1 / - C - 5) (1 / - C - 6) (1 / - C - 9)* à propos de l'étude de son procédé de lecture automatique extensive .

- Lorsque, dans l'exploration de gauche à droite (ou de haut en bas), la section verticale (ou horizontale) de la représentation d'un tracé se divise en 2 sections connexes à la précédente, on dit qu'il se produit une "séparation" (figure 91) .

- Lorsque, dans cette exploration, 2 sections verticales (ou horizontales) de la représentation d'un tracé se fondent en une seule section connexe aux précédentes, on dit qu'il se produit une "réunion" (figure 91) .

De plus, on doit préciser que le changement de sens d'exploration conduit à une permutation des définitions correspondant à chacun de ces deux "évènements" .

Nous avons utilisé ces notions pour adapter l'algorithme précédent au cas général où existent des arêtes intérieures à la surface couverte par l'objet (et son ombre portée si elle existe) qui doivent également être schématisées en vue de l'identification ; voici le nouvel algorithme ainsi obtenu :

A / Au cours d'une première exploration de la composante connexe envisagée, colonne par colonne et de gauche à droite, remplacer les "I" de la représentation discrète par des "2" sur les sections verticales caractérisant chaque "séparation" et par des "3" sur celles caractérisant chaque "réunion" .

B / Pour déterminer l'origine 0 du premier segment de la chaine, reprendre l'exploration colonne par colonne, de gauche à droite, et choisir le premier point rencontré appartenant à la composante connexe traitée .

C / Chercher tout d'abord s'il existe, sur la colonne suivant celle de 0, des points de contours ("I" , "2" ou "3") formant une composante connexe à 0 et dont

l'ordonnée maxima ( minima lorsque le sens d'exploration de la trame est inversé) présente un écart supérieur à 2 vis à vis de celle de 0 ; s'il en est ainsi, l'autre extrémité E du segment vertical correspondant aura pour abscisse celle de 0 et pour ordonnée l'ordonnée maxima ou minima précédente ; à fin d'éviter un parcours ultérieur de ce segment, on mettra à zéro ses points représentatifs situés 2 lignes plus haut ou plus bas que 0 ; puis aller en E / ; dans le cas contraire, le segment suivant n'est pas vertical : pour déterminer son autre extrémité, calculer l'écart angulaire $\widehat{0P_I , 0P_2}$ pour les sections $P_I P_2$ de la composante connexe, atteintes les premières par l'exploration de chacune des colonnes suivantes ...''

- Si $P_I$ et $P_2$ sont repérés par des "I" :

- dans le cas où l'angle décroit ou reste constant, continuer pour les colonnes suivantes, en vérifiant à chaque fois que le nouveau segment $P_I P_2$ est connexe au précédent .

- dans le cas où cet angle commence à croitre, revenir en arrière . L'extrémité E du segment 0E sera située, dans le plan de l'image, à l'intersection de cette colonne de la trame et de la bissectrice de l'angle $\widehat{0P_1 , 0P_2}$ correspondant. Aller en D / .

- Si $P_1$ et $P_2$ sont repérés par des "2" pour le sens d'exploration initial (ou des "3" pour le sens d'exploration inverse) : l'extrémité E du segment 0E sera située, dans le plan de l'image, à l'intersection de cette colonne de la trame repérant une "séparation" et de la bissectrice de l'angle $\widehat{0P_1 , 0P_2}$ correspondant . Aller en D / .

Si $P_1$ et $P_2$ sont repérés par des "3" pour le sens d'exploration initial (ou des "2" pour le sens d'exploration inverse) : revenir à la colonne précédente . Un point $E_0$ sera déterminé, dans le plan de l'image, par l'intersection de la colonne ainsi obtenue et de la bissectrice de l'angle $\widehat{0P_1 , 0P_2}$ correspondant . L'extrémité E du segment 0E sera alors située, également dans le plan de l'image, à la même ordonnée que $E_0$ mais sur la colonne de la trame repérant la "réunion" correspondante . Aller en D / .

D / Remplacer 0 par le point 0' suivant de la section verticale, de la composante connexe, sur laquelle il se trouve . Retourner en C / pour trouver l'extrémité E' correspondante . Si l'angle $\widehat{0'P'_1 , 0'P'_2}$ est inférieur à l'angle $\widehat{0P_1 , 0P_2}$, trouvé

pour E à l'itération précédente, remplacer 0 par 0' et E par E' . Continuer à retourner en C / jusqu'à épuisement des points de la composante connexe situés sur la colonne 0,0',... Les points 0 et E sont alors définitivement déterminés . Pour éviter un nouveau parcours du segment 0E , mettre à zéro ses points situés sur la colonne suivant 0 .

E / - Si la chaine de segments représentant le contour de la surface couverte par l'objet (et son ombre si elle existe) n'est par encore bouclée : aller en F / .

- Si cette chaine a été bouclée : - tant que E n'est pas repéré par un "3" pour le sens d'exploration initial, ou par un "2" pour le sens d'exploration inverse... ce qui caractérise son appartenance à une "réunion", retourner en C/ pour complèter la chaine par un nouveau segment ;

- lorsque le point E obtenu est ainsi repéré comme appartenant à une "réunion" aller en G / .

F / Pour la recherche des autres segments, fixer l'origine 0 à l'extrémité E du dernier segment trouvé . S'il existe encore des coupes verticales de la composante connexe à droite de 0 , retourner en C / . Dans le cas contraire, inverser le sens de progression sur la trame d'analyse (avance pas à pas des colonnes de la droite vers la gauche et parcours de chaque colonne de bas en haut) ;

- Si la distance cartésienne de 0 à l'origine $0_1$ du premier segment est supérieure à 2 (épaisseurs verticales et horizontales choisies pour la "squelettisation"), retourner en C / ) .

- dans le cas contraire, remplacer E par $0_1$ . Le contour de la surface couverte par l'objet (et son ombre portée si elle existe) est alors schématisé par une chaine fermée de segments . Aller en G / .

G / Pour amorcer la schématisation d'une arête intérieure à la surface couverte par l'objet (et son ombre éventuelle), se fixer la nouvelle origine 0 par la recherche des "séparations", envisagées dans le sens d'exploration initial, dont la seconde branche n'a pas encore été parcourue ; l'abscisse de 0 sera celle de la colonne de "2" correspondante sur la trame ; - si la "séparation" a déjà été rencontrée une première fois, l'ordonnée de 0 est fixée à la valeur obtenue et l'optimisation D / est inhibée :

si cette "séparation" est rencontrée pour la première fois, l'ordonnée est tout d'abord choisie en haut de la colonne de "2" puis rectifiée par

le procédé d'optimisation D / .

Retourner en C / , pour poursuivre la schématisation de la nouvelle arête .
Le processus est terminé lorsque toutes les branches de toutes les "séparations" ont été parcourues .

2 - 1 - 1 - 1 - 2 - Résultats obtenus au cours de l'expérimentation .

La méthode que nous utilisons au cours des différents essais présentés dans le cadre de ce mémoire n'était pas celle que nous venons d'exposer . Cette méthode était fondée sur la recherche d'alignement de points de la trame et nous étions gênés par un inconvénient grave de cette discrétisation ; certains segments du plan de l'image se trouvaient purement et simplement omis par le procédé de recherche, du fait qu'il était impossible de trouver 3 points de la trame qui leur appartiennent .

Les exemples présentés aux paragraphes 2 - 1 - 1 - 2 - 6 et 2 - 2 - 1 - 3 - ne correspondent pas à cette situation assez rare ... que nous évitions à fin de pouvoir poursuivre l'étude de notre procédé . Avec la nouvelle méthode, ce problème est résolu sur le plan théotique ; il reste à effectuer la mise au point du programme pour que tout segment du plan de l'image puisse être identifié d'une façon certaine .

2 - 1 - 1 - 1 - 3 - Moyens techniques utilisés .

Ainsi que nous venons de le préciser, le programme que nous avons utilisé n'est pas satisfaisant puisqu'il arrive qu'il omette certains segments compris dans les tracés apparus sur l'écran de la console IBM 2250 ( voir 2-1-1-1-2-6 et 2-1-1-1-2-7 )

2 - 1 - 1 - 1 - 4 - Conclusions

La méthode reposant sur la recherche d'alignements de points nous apermis de poursuivre nos essais au delà de cette étape du procédé... mais elle n'est pas satisfaisante puisqu'il existe des situations où elle se trouve en défaut .

La nouvelle méthode, dont nous avons présenté les algorithmes, est à même de résoudre la difficulté . Nous mettrons au point ultérieurement le programme correspondant .

2 - 1 - 1 - 2 - Assimilation de certaines chaines de segments ainsi obtenues à des figures géométriques simples du plan .

Nous venons de montrer comment il est possible d'approcher des "contours squelettisés" par des chaines de segments . Dans la pratique, lorsque c'est possible, nous souhaitons assimiler ces chaines à des figures géométriques simples . Comme, par définition, les propriétés géométriques ne sont directement applicables qu'aux êtres abstraits représentés, il sera nécessaire, pour les étendre aux tracés eux-mêmes, de fixer à priori des marges de tolérance sur l'appréciation des angles et des distances; nous introduisons pour cela quatre définitions :

2 - 1 - 1 - 2 - 1 - "Pseudo -parallèlisme" de deux segments .

Soit n le nombre de points minimum compris dans une colonne ou une ligne de la trame . Il parait raisonnable de choisir comme marge d'erreur angulaire celle qui résulterait du décalage transversal d'un pas de cette trame entre les deux extrémités d'une telle colonne ou ligne :

$\alpha_0 = 1 / n$ (petit angle assimilé à sa tangente)

Des tolérances angulaires $\alpha$ plus grandes peuvent cependant être choisies, en particulier lorsque les figures obtenues dans le plan représentant des faces d'objets de l'espace à trois dimensions (nous reviendrons sur ce point au paragraphe 2 - 1 - 1 - 3 -à propos de l'utilisation des lois de la perspective) .

Le choix de cette tolérance permet de définir le "pseudo-parallélisme" de deux segments par la condition qu'ils forment un angle inférieur ou égal à $\alpha$ .

2 - 1 - 1 - 2 - 2 - "Pseudo-perpendicularité" de deux segments.

De même, on dira que deux segments sont "pseudo-perpendiculaires" si l'angle qu'ils forment est compris entre $\pi/2 - \alpha/2$ et $\pi/2 + \alpha/2$.

2 - 1 - 1 - 2 - 3 - "Pseudo-confusion" de deux points .

Nous dirons que deux points sont "pseudo-confondus" si leur distance cartésienne dans le plan de l'image est inférieure à une tolérance $\delta$ qui pourra être choisie égale au pas de la trame de la représentation discrète .

2 - 1 - 1 - 2 - 4 - "Pseudo-confusion" de deux segments "égaux" et pseudo-parallèles .

Nous avons défini plus haut le pseudo-parallèlisme de deux segments . l'égalité dont il est question ici est en réalité une "pseudo-égalité" repérée à la

tolérance $\delta$ près .

Dans ces conditions, nous dirons que deux segments "égaux" et "pseudo-parallèles" sont "pseudo-confondus" si la distance cartésienne entre deux de leurs points homologues est inférieure à $\delta$ .

2 - 1 - 1 - 2 - 5 - Méthode utilisée pour la recherche d'éléments géométriques simples .

On assimile tout d'abord à un segment unique toute chaine formée de segments faisant entre eux des angles inférieurs à la tolérance $\alpha$ ( $\geq \alpha_0$) qu'on s'est fixée pour définir le "pseudo-parallèlisme" ; les extrémités de ce nouveau segment sont celles de la chaine qu'il remplace .

- Les divers polygônes obtenus à la suite de cette opération sont répertoriés selon l'ordre croissant du nombre des côtés : triangles, quadrilatères, polygônes à 5 côtés, etc... ; on ne dépasse pas 8 côtés, ce chiffre ayant été choisi parce qu'il semble que l'octogône soit le plus complexe des polygones rencontrés couramment comme contour de la face d'un objet ...

- On utilise ensuite les définitions précédentes pour caractériser plus complètement si possible chacun de ces polygônes :

Les triangles rectangles sont reconnus à partir de la "pseudo-perpendicularité" de deux des côtés .

Les triangles isocèles ou équilatéraux à partir de l'égalité à $\delta$ près de deux des côtés ou des trois .

Les parallèlogrammes sont reconnus, parmi les quadrilatères, à partir du "pseudo-parallèlisme" des côtés deux à deux .

Les rectangles, parmi les parallèlogrammes, par la "pseudo-perpendicularité" de deux cotés, et les losanges par l'égalité à $\delta$ près de deux côtés voisins .

Les carrés, parmi les rectangles, par l'égalité à $\delta$ près de deux côtés voisins .

- Accessoirement, on peut également rechercher :

les hauteurs d'un triangle, à partir de la "pseudo-perpendicularité" aux côtés ;

ses médianes, à partir de la division des côtés en deux parties égales à $\delta$ près ;

ses bissectrices, à partir de la division des angles en deux angles égaux à $\alpha$ près .

La notion de "pseudo-confusion" de deux segments permet alors de décider si un segment obtenu joue un tel rôle par rapport à l'un des triangles identifiés ... En réalité, les possibilités signalées dans ce dernier alinéa sont rarement utiles pour

l'analyse des contours d'objets ; elles ont été prévues dans notre programme, à fin de généraliser son emploi à l'analyse de tracés quelconques réalisés à la règle (numérisés puis "squelettisés" comme les contours de représentations d'objets...), par la simple application des lois de la géométrie de la droite dans le plan .

2 - 1 - 1 - 2 - 6 - Résultats obtenus au cours de l'expérimentation .

Notre programme d'identification des éléments géométriques a été essayé à partir de tracés effectués au photostyle sur la console 2250 I B M du C.I.R.C.E. Cette solution a été choisie à fin de rendre la mise au point de ce programme indépendante de l'état d'avancement des travaux relatifs aux étapes antérieures du processus, que nous avons décrites dans la première partie de ce document .

On peut voir à la figure 93 un exemple de tracé, tel qu'il est fourni à la machine ; cette figure est une reproduction sur traceur BENSON obtenue à partir du contenu du buffer du 2250 préalablement recopié sur bande magnétique ... La figure 94 , obtenue de la même façon, montre les indications portées sur l'écran par notre programme auquel a été soumis le tracé de la figure 93 : les divers segments identifiés ont tout d'abord été numérotés..., puis les différents éléments géométriques qu'ils forment ont été affichés, avec mention des segments utilisés comme côtés . Le listage donne d'autre part des résultats plus complets parmi lesquels on peut trouver par exemple que le segment n° 3 est confondu avec la hauteur du triangle isocèle 6 , 2 , 4 , avec la médiatrice du segment 6 et avec la bissectrice de l'angle $\widehat{2\ ,\ 4}$ ...

La qualité des résultats obtenus au cours de ces essais est liée au procédé de tracé qui permet d'éviter les problèmes de tolérance qui se posent dans le cas des représentations discrètes fournies par un capteur ( voir paragraphe 2 - 1 - 1 - 2 - 1 - à 2 - 1 - 1 - 2 - 4 -) . L'enchainement avec les programmes d'extraction des contours et de squelettisation n'a pas été essayée dans le cadre de ce travail, mais elle est naturellement envisagée pour l'avenir .

2 - 1 - 1 - 2 - 7 - Moyens techniques utilisés

Console conversationnelle 2250 I B M et son photostyle .

Cette console comprend un écran cathodique de 30,5 cm × 30,5 cm, un clavier alphanumérique, un clavier de fonctions à 32 touches éclairables par programme et un photostyle dont la cellule photoélectrique répond à la luminescence de l'écran (commande du prélévement d'information par pédale située en dessous du pupitre) .

La mémoire auxiliaire à tores, destinée au stockage des commandes d'affichage des tracés, a une capacité de 8 K octet .

Le dispositif comprend un générateur de vecteurs et un générateur de caractères ; ce dernier permet l'utilisation de 63 caractères alphabétiques, numériques et ponctuation... différents et ceci selon deux tailles au choix ; l'écran peut être couvert par 52 lignes de 74 caractères "normaux" ou par 35 lignes de 49 "grands" caractères .

Le modèle 1 du C.I.R.C.E. ne permet pas la numérisation d'un tracé par "tracking" .

Programme de tracé .

Nous venons de voir que la console 2250 I B M du C.I.R.C.E. ne comporte pas la possibilité d'effectuer directement les tracés avec le photostyle ; il faudrait pour cela disposer du modèle 2 , dont le photostyle à "tracking" permet l'écriture de traits lumineux sur l'écran ...

Comme il ne saurait être question d'écrire un programme pour la réalisation de chaque dessin constituant les données de nos programmes d'identification, nous avons été amenés à utiliser le procédé suivant : un vecteur tournant qui apparait sur l'écran pendant la phase de tracé se trouve ajusté pas à pas [1] en grandeur et direction à l'aide de pointages de diverses options d'un "menu" qui apparait en haut et à gauche de l'écran (voir figure 92) ; lorsque l'opérateur juge qu'il dispose du vecteur souhaité, il ne lui reste qu'à donner une commande de transfert sur le dessin, l'origine du nouveau vecteur obtenu, équipollent au premier, étant choisie soit par pointage sur l'écran avec le photostyle, soit par commande d'enchainement sur le précédent vecteur transféré .

Cette méthode est efficace, mais elle a l'inconvénient de conduire à des temps d'immobilisation assez longs de la console 2250 (20 minutes environ pour un tracé moyennement complexe) ; cette objection n'est d'ailleurs pas fondamentale car ce temps n'est pas comptabilisé ; il est tout à fait indépendant du temps d'utilisation de l'unité centrale de la machine qui, lui, reste très faible ... Il deviendrait par contre prohibitif du point de vue du temps passé par l'opérateur si on envisageait l'application à des tracés de plans sensiblement plus complexes que les dessins que nous avons pris comme exemples pour nos essais ; on serait probablement gêné également dans ce cas par la capacité limitée du buffer du 2250 qui ne comporte que 8 K octets ...

1) longueur ajustée par pas de la trame horizontale ; angle ajusté par accroissements de 5° .

Programme " d'identification de figures élémentaires relevant de la géométrie de la droite dans le plan . "

Notre programme a été conçu pour l'interprétation de dessins effectués sur console 2250 I B M : il est lancé par l'opérateur lorsqu'il a terminé son tracé .

Le langage graphique G S P , utilisé pour la rédaction du programme précédent, ne stocke pas le tracé sous la forme d'une représentation binaire discrète, mais simplement par les coordonnées des extrémités de segments repérées sur une matrice convenablement dimensionnée (trame de 1024 × 1024 points) . Le programme doit donc tout d'abord construire, à partir de ces données, une matrice analogue à la représentation binaire discrète qui aurait été obtenue à partir de ces mêmes tracés effectués sur papier, puis numérisés par un capteur ... Pour cela, il met à 1 les bits situés, sur la trame, de part et d'autre des segments du plan de l'image repérés par les coordonnées connues de leurs extrémités . C'est seulement lorsqu'on dispose des données sous la forme de cette matrice que commence le programme d'identification proprement dit .

La recherche des éléments géométriques commence par celle des segments représentés sur la matrice précédente ; la méthode utilisée est celle qui a été décrite au paragraphe 2 - 1 - 1 - 1 .

2 - 1 - 1 - 2 - 8 - Conclusions

Comme le tracé a été effectué à partir d'un vecteur tournant à variation pas à pas de longueur et d'angle, il n'y a aucune approximation à faire pour décider de la confusion de deux points, du parallèlisme, de la perpendicularité ou de la confusion de deux segments . L'identification des triangles rectangles, isocèles et équilatéraux, des rectangles, losanges et carrés... se poursuit donc par la vérification rigoureuse des relations géométriques classiques ; il en est de même pour l'identification éventuelle des médiatrices, bissectrices et médianes des triangles ...

Lorsque ce programme sera enchainé sur les programmes d'extraction et de "squelettisation" des contours, à partir de photographies numérisées, il sera indispensable d'introduire des gammes de tolérance pour la comparaison des longueurs (tolérance $\delta$ définie aux paragraphes 2 - 1 - 1 - 2 - 3 et 2 - 1 - 1 - 2 - 4 ) et la comparaison des angles (tolérance $\lambda$ définie aux paragraphes 2 - 1 - 1 - 2 - 1 - et 2 - 1 - 1 - 2 - 2 -) .

2 - 1 - 1 - 3 - Application des lois de la perspective à la construction de polyèdres de l'espace à trois dimensions dont la photographie est une représentation plane *(2 / - B)*

Rappelons tout d'abord que ce problème a été largement traité par des auteurs américains, sous le nom de "scene analysis", en particulier en vue de la manipulation d'objets par des robots (applications spatiales). Beaucoup des résultats qu'ils ont obtenus sont directement utilisables...; c'est pourquoi nous n'avons pas jugé utile de développer beaucoup nos recherches dans ce sens. Nous montrerons simplement ici comment on peut appliquer les principes classiques de la perspective à l'interprétation automatique des vues planes dans l'espace à trois dimensions qu'elles représentent.

2 - 1 - 1 - 3 - 1 - Rappel des définitions de la "ligne d'horizon" et des "points de fuite".

Le plan dans lequel est cadrée l'image s'appelle le plan frontal.

La droite passant par l'œil de l'observateur ou par l'objectif photographique... et perpendiculaire au plan frontal est l'axe de vision.

L'intersection de l'axe de vision et du plan frontal est le point de fuite principal P. Les droites représentant des perpendiculaires au plan frontal convergent en P : ce sont les fuyantes principales.

La ligne d'horizon est l'horizontale du plan frontal passant par P.

En reportant sur la ligne d'horizon, de part et d'autre de P, des longueurs égales à la distance d'observation (distance de l'œil au plan frontal ou focale de prise de vue), on obtient des points de fuite secondaires où viennent converger les fuyantes représentant des droites inclinées à 45° vis à vis de l'axe de vision. Ces fuyantes à 45° permettent de reporter en profondeur l'échelle verticale ou horizontale du plan frontal à fin de rendre possible la cotation dans la troisième dimension.

2 - 1 - 1 - 3 - 2 - Méthode proposée.

Le procédé automatique doit commencer par identifier la ligne d'horizon et le point de fuite principal P. Pour cela, il faut consulter la liste des éléments géométriques qui ont été identifiés par le procédé décrit plus haut ( 2 - 1 - 1 - 1 - et 2 - 1 - 1 - 2 - ), parmi les contours extraits de la photographie ; les rectangles repré-

sent des faces d'objets parallèles au plan frontal ; la probabilité pour que ces objets soient des parallèlépipèdes rectangles étant élevée, il suffira pour déterminer P de chercher un point d'intersection commun à plusieurs supports d'arêtes issues de divers sommets des rectangles . La ligne d'horizon est alors l'horizontale passant par le point P ainsi déterminé .

Si la liste consultée ne comporte aucun rectangle, il reste possible d'utiliser les supports d'arêtes issues des extrémités de segments verticaux ou horizontaux pour déterminer d'éventuels points de fuite secondaires dont il faudra vérifier a posteriori qu'ils sont bien sur une même horizontale définissant la ligne d'horizon .

Ces procédés peuvent cependant être en défaut si les faces non parallèles au plan frontal ont été assimilées à des parallèlogrammes : ce sera le cas à chaque fois que la profondeur de l'objet est faible, ainsi que ses autres dimensions, vis à vis de celles de l'image ... Ce pseudopallèlisme est analogue à celui que nous avons évoqué plus haut (la tolérance angulaire correspondant à cette assimilation pourrait d'ailleurs être choisie égale à celle qu'il est possible de mesurer pour l'oeil... à fin d'aboutir à la même conclusion que l'observation humaine) .

Le cas d'objets se masquant les uns les autres a été souvent traité dans le cas lorsqu'il s'agit d'objets parallèlépipédiques ou pyramidaux ; les programmes proposés reposent tous sur l'extrapolation des contours cachés à partir de l'hypothèse que ces objets y conservent ces formes simples *( 2/-B-2) (2/-B-5 ) (2/-B-10)* . Nous avons l'intention d'utiliser ultérieurement une telle méthode, mais nous n'avons pas jugé nécessaire de la faire dans le cadre de ce mémoire .

Il y a par contre le problème de l'interprétation des ombres qui a été moins souvent abordé . Ces ombres peuvent tout d'abord provoquer la disparition de certaines arêtes de l'objet, à cause de la saturation de la gamme des niveaux de gris vers le noir ( la même difficulté peut d'ailleurs se présenter également lorsqu'un éclairement trop intense aboutit à une saturation de la gamme des niveaux de gris vers le blanc, ou lorsque des faces jointives se trouvent présenter des éclairements voisins...) : la meilleure solution proposée pour combattre cette difficulté *( 2/-B-11) (2/-B-16)* reste de disposer d'un capteur en temps réel, dont le programme puisse corriger le calage de l'échelle des niveaux de gris de façon à faire apparaitre les arêtes qui manquent ; cette solution pourra être essayée au R.A.M.I. lorsque le calculateur de pré-

traitement sera inclus dans la prochaine version du capteur... L'autre solution consiste à reconstituer par extrapolation les arêtes disparues, comme dans le cas des objets masqués .

D'autre part, les contours d'ombres portées assez contrastées sont difficiles à distinguer des contours de l'objet . La figure 74 est un bon exemple d'une telle situation . Il semble qu'il faille tout d'abord essayer de trouver systématiquement des représentations de volumes simples... puis interpréter le reliquat comme des contours d'ombres portées . La donnée de la position de la source lumineuse supposée ponctuelle peut éventuellement permettre une vérification à condition que les objets correspondant aux ombres portées analysées soient bien dans le champ de la photographie ...

## 2 - 1 - 2 PROPRIETES STATISTIQUES DE LA REPARTITION DES NIVEAUX DE GRIS SUR LES SURFACES DELIMITEES PAR LES CONTOURS .

Jusqu'à présent nous n'avons utilisé que l'information comprise dans les contours d'objets extraits de la photographie selon les procédés décrits dans la première partie . Il est naturellement aussi intéressant d'exploiter l'information comprise dans les fluctuations de niveaux de gris sur les différentes surfaces ainsi délimitées . Des résultats ont déjà été obtenus dans ce domaine par des auteurs traitant le problème du dépouillement des photographies aériennes *(1/-E-10)*... D'une façon générale, la répartition en surface des niveaux de gris et de la texture locale introduite au paragraphe 1-1-3-3- caractérise la rugosité des faces observées et doit pouvoir ainsi contribuer à l'identification de la matière dont est constitué un objet .

### 2 - 1 - 2 - 1 - Problème de l'identification des matières dont sont constituée les objets .

Pour que ces propriétés statistiques soient effectivement significatives de ce point de vue, il est tout d'abord nécessaire qu'elles se distinguent du bruit introduit d'une part par le grain de la photographie et d'autre part par les variations de luminosité du spot et celles du gain du photomultiplicateur . Compte tenu des dimensions du spot, dont le diamètre est de l'ordre du micron, on peut considérer que le grain de l'émulsion photographique se trouve filtré au moment de la mesure du niveau de gris par le capteur . Par contre, le bruit propre du capteur n'est pas négligeable et il dépend beaucoup de la luminosité : des mesures précises supposent un étalonnage

préalable au cours duquel seraient mesurés les écarts quadratiques du niveau de gris défini par le capteur pour différentes transparences, elles mêmes étalonnées par un procédé photométrique classique (utilisation d'un micro densitomètre de précision) *(1/-A-9)*.

Il intervient également d'autres facteurs dans l'interprétation des fluctuations qui ne sont nullement négligeables : il s'agit de la distance de prise de vue, des conditions d'éclairage au moment où la photographie est prise et du choix des différents réglages définissant le contraste. Ce nombre important de paramètres, à faire varier systématiquement, conduirait à une étude très longue qui n'a pu être entreprise dans le cadre de ce mémoire. On trouvera seulement ici les résultats d'essais préparatoires à un tel travail.

2 - 1 - 2 - 2 - Méthode employée.

Il s'agit du relevé systématique d'histogrammes des niveaux de gris et des textures observés en chaque point de cases de 24 × 36 prélevées sur la représentation discrète des clichés utilisés. Le choix de ces cases s'effectuait visuellement à l'aide d'une grille superposée au cliché, comme dans l'essai E décrit au paragraphe 1-3-3-2. Les clichés représentaient divers objets que l'identification du matériaux dont ils sont constitués peuvent aider à reconnaitre... ; on s'assurait simplement que la case choisie couvrait une zône correspondant, sur toute sa surface, à la matière qu'on avait choisi d'étudier, sans variation notable de l'éclairement. (Cependant, une étude systématique nécessiterait une vérification de la stabilité des spectres d'une case à l'autre... sur des clichés pris parallèlement à la surface des matériaux étudiés et sans rien d'autre dans le champ.)

2 - 1 - 2 - 3- Résultats des premiers essais effectués.

On a choisi sur 8 clichés des cases couvrant respectivement :

- de l'asphalte,
- du sable mélangé à des cailloux,
- de l'herbe,
- un mur de moellons,
- un mur de briques,
- un toit de tuiles,
- un toit d'ardoises,
- une haie.

Les histogrammes de niveaux de gris sont présentés respectivement aux figures 95, 97,99,101,103,105, 107 et 109 ; les histogrammes de texture aux figures 96,98,100, 102, 104, 106, 108 et 110 .

2 - 1 - 2 - 4 - Moyens techniques utilisés .

Les clichés ont été numérisés à l'aide du capteur du R.A.M.I. "2ème version" .

Le programme de calcul des histogrammes est une extension du programme utilisé pour l'essai D, tel qu'il est décrit au paragraphe 1 - 3 - 3 - 3 - . Il était exploité sur calculatrice C D C 3.600 .

2 - 1 - 2 - 5 - Conclusions provisoires et perspectives de poursuite des essais .

Ainsi que nous l'avons annoncé, ces essais sont beaucoup trop partiels pour qu'il soit possible d'en tirer des conclusions définitives . On peut seulement remarquer que les histogrammes de niveaux de gris que nous avons obtenus partagent les 8 matières, telles qu'elles se présentent sur les clichés traités ..., en trois groupes :

- l'asphalte, le sable mélangé à des cailloux et l'herbe... dont les histogrammes de niveaux de gris sont approximativement Gaussiens ; l'herbe se distingue des deux autres matières de ce groupe par sa forte texture et la répartition approximativement Gaussienne de celle-ci .

- le mur de moellons et la haie... dont les histogrammes de niveaux de gris sont assez étroits et peu systématiques, mais dont les histogrammes de textures sont approximativement Gaussiens .

- le mur de briques, le toit de tuiles et le toit d'ardoises... dont les histogrammes de texture sont assez larges, mais dissymétriques .

Il ne saurait être question de définir une stratégie d'identification de matières, à partir de ces seuls résultats . Nous pensons qu'ils montrent seulement que le rapport Signal / Bruit du capteur du R.A.M.I. "2ème version" est suffisant pour permettre d'entreprendre l'étude systématique et que les deux types d'histogrammes essayés semblent pouvoir être utilisés pour la décision, indépendamment l'un de l'autre ...

## 2 - 2 - UTILISATION DE LA DESCRIPTION DES CONTRAINTES IMPOSEES PAR LE CONTEXTE EXTERIEUR A L'IMAGE , MAIS CONNU A PRIORI *(2/-C)*

### 2 - 2 - 1 - EXEMPLE TRAITE : IDENTIFICATION D'ELEMENTS DU CONTEXTE ARCHITECTURAL SUR DES DESSINS AU TRAIT SCHEMATISES .

Les essais que nous allons présenter ont été effectués en vue d'analyser la possibilité de définir un procédé d'identification à partir de l'expression systématique du contexte associé aux images traitées . Nous avons pris comme exemple la représentation très simplifiée de maisons par des tracés, analogues à ceux des dessins d'enfants, effectués au photostyle sur console 2250 I B M . Notre idée est d'étendre ultérieurement et progressivement le procédé à un contexte beaucoup plus large tel que celui de l'interpretation de plans ou de photographies de maquettes en architecture .

#### 2 - 2 - 1 - 1 - Description du langage TOPOLOGOS [1] que nous avons défini en vue de l'expression des contraintes de positions .

##### 2 - 2 - 1 - 1 - 1 - Vocabulaire .

On a prévu la désignation d'un certain nombre d'éléments de la géométrie de la droite dans la plan : POINT , SEGMENT, LONGUEUR, PENTE, INTERSEC, COTE, TRIANGLE, TRIREC, TRISOSC, TRIEQUI, QUADRIL, PARAL, LlosANGE, REC, CARRE .

Par contre, les mots de 8 caractères au plus, désignant les concepts définis par chacune des propositions utilisées pour exprimer le contexte, sont choisis librement.

Des indices littéraux apparaissent entre virgules, à la suite d'un élément géométrique ou d'un concept, servent à repérer leur identité..., et leur appartenance s'il s'agit d'un côté : c'est ainsi, par exemple, que "TRIANGLE , N , I , "désigne le côté repéré par l'indice I du triangle numéro N .

Nous avons défini des déclarations de position ; les unes portent sur un seul élément géométrique ou concept : (.../VERTI) , (.../HORIZ) , les autres sur deux éléments géométriques ou concepts : (...INCLUS. ...) , (...EXTER. ...) , (...JOINT. ...) , (... GAUCHE. ...) , (...DROITE. ...) , (...SUR. ...) , (...SOUS. ...) et spécialement

[1] Le nom donné à ce langage évoque la description "naïve" de la disposition relative des objets ou éléments d'objets... et non le chapitre des mathématiques consacré à la topologie .

pour les pentes et longueurs : (... = ...) .

Nous avons enfin adopté les relations logiques : la relation (NOT/...) qui porte sur une seule sous-proposition et les relations (... .AND. ...) et (... .OR. ...) qui portent sur deux sous-propositions (voir les règles syntaxiques au paragraphe suivant) .

2 - 2 - 1 - 1 - 2 - REGLES Syntaxiques .

Toute proposition doit être définie à partir de l'une des 4 règles de composition suivantes :

- Concept défini = Elém. Géom., Indice du Concept, sous-proposition "n"
- Concept défini = Elém. Géom. Indice du Concept, (NOT/ sous-proposition "n")
- Concept défini = Elém. Géom., Indice du Concept, (sous-proposition "n" .AND. sous-proposition "m")
- Concept défini = Elém. Géom, Indice du Concept, (sous-proposition "n" .OR. sous-proposition "m")

L'indice du concept sert à prévoir la numérotation des éléments du dessin répondant à la définition, lorsqu'il y en a plusieurs ...

A fin de simplifier la mise au point de l'interpréteur, nous avons apporté une contrainte supplémentaire, purement formelle : aucun . AND. ni . OR. ne doit apparaitre dans la sous-proposition "m" du second opérande .

Toute sous-proposition est une sous-proposition élémentaire ou bien elle se déduit d'autres sous-propositions par l'une des 3 lois de composition suivantes :

- sous-proposition "k" = (NOT/ sous-proposition "i")
- sous-proposition "k" = (sous-proposition "i" .AND. sous-proposition "j")
- sous-proposition "k" = (sous-proposition "i" .OR. sous-proposition "j")

D'après ce qui a été dit plus haut, qui s'applique également aux sous-propositions "j", les deux dernières de ces lois de composition ne sont applicables qu'à des sous-propositions utilisées en position "i" ou "n" .

Toute sous-proposition élémentaire a l'une des deux compositions suivantes :

| | | | |
|---|---|---|---|
| - Elém. Géom. ou Concept défini dans la même proposition ou une proposition antérieure . | Indice de segment, triangle, quadrilatère ... | Indice de côté (éventuellement) . | Déclaration de position relative à un Elém. Géom. ou un Concept . |
| - Elém. Géom. ou Concept défini dans la même proposition ou une proposition antérieure . | Indice de segment triangle, quadrilatère, ... | Indice de côté (éventuellement) . | |

Déclaration de position relative à deux Elém. Géom. ou Concepts,

| | | |
|---|---|---|
| - Elém. Géom. ou Concept défini dans la même proposition ou une proposition antérieure . | Indice de segment, triangle, quadrilatère, ... | Indice de côté (éventuellement) . |

Dans une sous-proposition élémentaire, l'indice littéral du concept défini par la proposition à laquelle elle appartient doit apparaitre au moins une fois .

2 - 2 - 1 - 2 - Principe de fonctionnement de l'interpréteur .

Ayant prévu dès l'origine que cette étude conduirait à des extensions successives de la portée de notre langage, nous avons préféré recourir à un interpréteur, plutôt qu'à un compilateur plus difficile à modifier : les propositions rédigées en TOPOLOGOS ne sont donc pas traduites avant exécution du programme d'identification des éléments du tracé ; c'est l'analyse syntaxique de chacune d'elles qui conduit à la sélection d'éléments répondant à la définition qu'elles expriment, parmi les éléments géométriques identifiés au cours de l'exécution du programme de recherche des éléments géométriques ( voir 2 - 1 - 1 - 1 - et 2 - 1 - 1 - 2 -) .

2 - 2 - 1 - 2 - 1 - Analyse syntaxique .

Chaque proposition analysée successivement se trouve découpée et traitée

selon le même schéma .

La suite de caractères placée en tête du second membre, hors parenthèses, permet la détermination de la nature de l'élément géométrique associé au concept énoncé au premier membre ; les virgules permettent d'autre part la définition de l'indice littéral correspondant .

La suite de la proposition est lue à partir de la première parenthèse, de gauche à droite . La première parenthèse fermante rencontrée détermine, avec la parenthèse ouvrante précédente, la séquence de caractères correspondant à la sous-proposition qu'il s'agit d'analyser .

Le slash ou les points localisent la déclaration de position ou la relation logique exprimée par la sous-proposition .

S'il s'agit d'une déclaration de position, la sous-proposition est élémentaire : son ou ses opérandes sont lus, ainsi que leurs indices, compte tenu des virgules ; les éléments géométriques correspondants sont alors recherchés systématiquement parmi les résultats du programme dont nous avons décrit le fonctionnement au paragraphe 2 - 1 - 1 - 2 ... ; ne sont conservés que ceux qui satisfont, seuls ou deux à deux, la déclaration de position qui a été reconnue .

S'il sagit d'une relation logique, la sous-proposition porte sur une ou sur deux sous-propositions antérieurement analysées ; l'un des trois cas suivants se présente :

- NOT/ sous-proposition "i" : les éléments retenus sont de même nature, mais les combinaisons d'indices sont complémentaires de celles qui ont été retenues au moment de l'analyse de la sous-proposition "i" .

- sous-proposition "i" .AND. sous-proposition "j" : les éléments conservés sont ceux qui sont de même nature et de mêmes indices, parmi ceux qui ont été retenus à la fois au moment de l'analyse de la sous-proposition "i" et au moment de l'analyse de la sous-proposition "j" .

- sous-proposition "i" .OR. sous-proposition "j" : les éléments conservés sont tous ceux qui ont été retenus au moment de l'analyse de la sous-proposition "i" ou au moment de l'analyse de la sous-proposition "j" .

Avant de procéder à la recherche de la prochaine sous-proposition à analyser, qui se termine à la parenthèse fermante qui suit, le programme élimine par un masque

les caractères correspondant à la sous-proposition qui vient d'être traitée .

Les résultats de la sélection commandée par chaque analyse de sous-proposition sont déposés sur disques, à fin d'être disponibles au cours de la suite des opérations ; lorsque la dernière parenthèse fermante a été utilisée, la sélection finale permet de composer la conclusion qui apparait sur l'écran et le listage .

2 - 2 - 1 - 2 - 2 - Recherche des éléments géométriques du dessin vérifiant les contraintes de positions

Nous allons apporter ici des précisions sur l'interprétation des différentes déclarations de position utilisées dans la "version" actuelle de TOPOLOGOS :

(a / VERTI) ou (a / HORIZ) : le premier indice est utilisé pour la recherche lorsque a est un segment ; si a est un triangle ou un quadrilatère, la recherche est effectuée en faisant varier le second indice qui correspond aux côtés . La verticalité est vérifiée lorsque les abscisses des deux extrémités sont égales ; l'horizontabilité lorsque leurs deux ordonnées sont égales .

(a. INCLUS. b) ou (a. EXTER. b) : pour vérifier que l'élément a est inclus dans la surface de l'élément b , le programme vérifie que depuis tout sommet (ou extrémité) de a , il est impossible de trouver une direction ne coupant pas un côté de b . Pratiquement, on se contente d'essayer toutes les directions déduites de l'horizontale par des rotations de 45° .

Les éléments a extérieurs à la surface de b sont obtenus par la décision complémentaire .

Le principe adopté ici est généralisable à des contours fermés quelconques, en remplaçant les sommets précédents par différents points définis à partir d'une loi d'échantillonnage ...

(a. JOINT. b) : des triangles ou quadrilatères sont reconnus jointifs, s'il existe un côté de b colinéaire avec un côté de a , et que ces deux côtés ont une partie commune .

(a. SUR. b) ou (a. DROITE. b) ou (a. SOUS. b) ou (a. GAUCHE. b) : L'élément a est jugé, par définition, comme étant "sur" l'élément b lorsque, vis à vis de chaque côté $b_i$ de b (ou b lui-même, s'il sagit d'un segment) , les sommets de l'élément a se trouvent (voir figure 111) :

- dans le demi-plan supérieur délimité par le support de $b_i$ , si la pente de $b_i$ est nulle .

- dans le demi plan supérieur délimité par l'horizontale passant par l'extrémité supérieure de $b_i$ , si la pente de $b_i$ est infinie (abscisses des extrémités égales) .

- dans un angle obtus formé par $b_i$ et l'horizontale passant par son extrémité inférieure, si la pente de $b_i$ est positive ou négative et finie[1].

Les trois autres décisions se déduisent de celle-ci par des rotations successives de la figure de 90° , dans le sens des aiguilles d'une montre .

Ce principe est généralisable également à des contours fermés quelconques, à condition d'utiliser pour $b_i$ des segments - ayant pour supports les tangentes en chaque point du contour b défini par une loi d'échantillonnage- et ayant des extrémités situées sur le rectangle de côtés parallèles aux axes, dans lequel est inscrit le contour b .

(a. = .b) : cette relation n'est applicable qu'aux longueurs ou aux pentes de a et b s'il sagit de segments, ou aux côtés de a et b s'il sagit de triangles, de quadrilatères,... Dans le premier cas, la recherche est effectuée sur le premier indice, et dans le second sur le deuxième .

Etant données les conditions des tracés sur console, l'égalité rigoureuse est seule acceptée . Dans le cas général, les tolérances à prévoir pour que soit admise l'égalité sont de $\delta$ pour la longueur et de $\pm$ tg $\alpha$ / 2 pour la pente .(voir2-1-1-2)

2 - 2 - 1 - 3 - Résultats obtenus .

La figure 112 présente le tracé effectué sur la console 2250 I B M du C.I.R.C.E. ; les résultats affichés par le programme d'identification des éléments géométriques sont présentés à la figure 113 , tels qu'ils apparaissent sur l'écran à la fin de ce premier traitement .

Les propositions choisies pour définir le contexte en TOPOLOGOS, sont affichées sur l'écran, en vue d'une éventuelle modification par le clavier, dès le début d'exécution du second traitement destiné à l'identification des "éléments architecturaux" : elles apparaissent en haut de la figure 114 ; à la fin de l'exécution de ce programme, apparaissent également les conclusions, ainsi qu'on peut le voir au bas de la figure 114 .

[1] Ce critère n'est valable que pour des représentations frontales ; il est prévu ultérieurement d'interpréter les relations de positions dans l'espace à 3 dimensions, après estimation des profondeurs par les règles de la perspective ( voir 2 - 1 - 1 - 3 - 2)...

2 - 2 - 1 - 4 - Moyens techniques utilisés .

On se reportera au paragraphe 2 - 1 - 1 - 2 - 7 - pour la description de la console 2250 I B M du C.I.R.C.E. , de notre programme de tracé et du programme d'identification de figures élémentaires relevant de la géométrie de la droite dans le plan .

Notre programme d'identification utilisant la description du contexte en TOPOLOGOS utilise comme données la liste des éléments géométriques identifiés par le programme précédent . Les propositions exprimant le contexte sont fournies par cartes à la machine qui les affiche dès le début d'exécution ; on peut modifier ces propositions éventuellement à l'aide du clavier, au cours d'un apprentissage par exemple... avant de lancer le programme d'identification proprement dit qui fonctionne selon le principe décrit au paragraphe 2 - 2 - 1 - 2 .

2 - 2 - 1 - 5 - Conclusions et possibilités d'amélioration du procédé pour l'adaptation à des contextes d'utilisation réels..

Les résultats satisfaisants obtenus ne doivent pas conduire à sous-estimer les difficultés qui subsistent pour étendre le procédé à un contexte plus large tel que celui de l'interprétation de plans ou de photographies de constructions et de maquettes en architecture ...

Aux éléments géométriques à reconnaitre, il faudra tout d'abord ajouter les arcs de cercles et d'ellipses... à cause des voûtes, des arcs boutants, des arches de ponts, des oeils de boeuf... qui n'apparaissent pas forcément dans le plan frontal... De plus, il sera bon de donner à l'opérateur la possibilité de nommer par le clavier certains contours complexes après les avoir parcourus au photostyle pour le repérage .

Les futures versions du langage TOPOLOGOS devront d'autre part comporter deux niveaux d'interprétation des déclarations de position :

- les déclarations de position relatives aux éléments du tracé ou des contours, tels qu'ils se présentent dans le plan de l'image .

- les déclarations de position relatives aux éléments de l'espace à trois dimensions représentés, dont l'interprétation devra tenir compte de la perspective selon les principes rappelés au paragraphe 2 - 1 - 1 - 3 -

Il serait intéressant de faire intervenir également des déclarations de liaisons mécaniques (relation de support, assemblages divers,...) en désignant les éléments concernés au photostyle .

Pour chaque version de TOPOLOGOS , il faudra établir un corpus de propositions qui propose les meilleures définitions possibles des différents concepts du contexte choisi . Nous avons pris des contacts avec un groupe d'architectes pour essayer de faire ce travail pour l'architecture .

# CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

La version actuelle de TOPOLOGOS nous a permis d'obtenir des identifications correctes sur des dessins au trait effectués au photostyle, à partir de l'expression d'un contexte architectural extrêmement simplifié .

Nous envisageons actuellement d'appliquer notre procédé à des contextes plus larges relevant de l'architecture d'une part et de la mécanique d'autre part..., pour l'interprétation de plans ou de photographies de maquettes . Pour que cela soit possible, il est nécessaire d'apporter des modifications importantes ;

1°) dans le processus d'extraction des éléments géométriques :

- distinguer systématiquement les éléments de la représentation plane de ceux de l'espace à 3 dimensions représenté (nous y avions renoncé provisoirement, malgré les inconvénients qui en résultent dans l'interprétation des relations de positions,... à fin de réaliser plus rapidement la chaine de programmes nécessaire à nos essais) .

- utiliser l'un des nombreux programmes de perspective qui existent pour l'interprétation de la représentation plane et la construction des éléments de la représentation à trois dimensions.[1)]

- généraliser la dénomination des éléments à des contours moins simples, parcourus sur l'écran de la console de contrôle à l'aide du photostyle . Ceci permet-

1) Le problème de l'extrapolation des contours cachés a très souvent été traité pour les paralléllépipèdes et les pyramides ; par contrel'élimination des ombres est beaucoup plus difficile si on ne connait pas la direction du soleil ou de la source lumineuse vis à vis du plan de la prise de vue .

trait de remettre à plus tard le problème de l'identification de cercles et d'ellipses auxquels on ne peut échapper autrement ...

2°) dans le langage TOPOLOGOS et son interpréteur :

- établir une liste de définitions relatives à l'architecture ou à la mécanique, en rapport avec des spécialistes de ces techniques intéressés par une application précise du procédé ...

- chercher à exprimer ces définitions en TOPOLOGOS et perfectionner ce langage à cette occasion... sans perdre de vue l'importance du travail de programmation correspondant à effectuer pour modifier l'interpréteur (dans les nouvelles versions de TOPOLOGOS , on introduira la distinction entre les relations de position de l'espace à 2 dimensions et celles de l'espace à 3 dimensions, puis éventuellement certaines relations imposées par la pesanteur ou par l'assemblage...)

Comme on peut le constater en lisant cette énumération des travaux à faire..., il sagit en fait d'un programme à longue échéance qui nécessiterait toute une équipe de recherche ...

# A N N E X E S

A 1 EVOLUTION DE LA PSYCHOLOGIE DE LA PERCEPTION VISUELLE .

A 2 RESULTATS RECENTS ET RECHERCHES EN COURS EN PSYCHOPHYSIOLOGIE DE LA VISION .

## A I EVOLUTION DE LA PSYCHOLOGIE DE LA PERCEPTION VISUELLE

### A - I - I - Genèse de la notion de "forme" : de l'Associationnisme" à la "Gestalt"...

*(A / - I - I)*

Les psychologues du siècle dernier et du début de celui-ci analysaient la perception à partir de la notion de "sensation élémentaire" supposée liée à chaque paramètre physique directement appréhensible par les sens . Ils faisaient appel, pour l'élaboration des "images mentales" correspondantes, aux principes de l'associationnisme selon lesquels la rencontre temporelle de telles sensations suffisait à créer ces images, par un processus analogue à celui des réflexes conditionnés découverts par PAVLOV . Pour résoudre les contradictions résultant de ce point de vue, ils furent rapidement amenés à envisager l'existence d'un second processus, indépendant du premier, qu'ils appelèrent la "synthèse mentale" et dans lequel les éléments initiaux perdaient leur individualité ; ce second processus, supposé appartenir au domaine de l'inconscient, se trouvait par là même inaccessible à toute vérification expérimentale .

C'est à EHRENFELD *(A / - I - I - I)* que nous devons les premières idées qui sont à l'origine de la notion de "forme", telle qu'elle a été développée par les psychologues de la Gestalt . Dès 1890, en effet, il remarquait l'individualité propre d'une mélodie vis à vis des sons qui la composent... et celle d'une figure vis à vis des segments et des points de son tracé . Il montrait de plus que cette individualité se conserve lorsqu'on effectue sur la forme certaines "transpositions" (la transposition tonale pour une mélodie..., l'homothétie et parfois la symétrie pour les figures)..., alors qu'elle ne résiste pas à une modification limitée à l'un de ses éléments constituants : il avait ainsi mis en évidence le fait que ces "unités" n'étaient pas assimilables à la simple réunion de leurs constituants élémentaires ; on dirait aujourd'hui qu'elles sont définies par une structure .

L'opposition entre le domaine des sensations et celui de l'élaboration des images mentales n'a cependant disparu qu'avec les travaux des fondateurs de l'école de la Gestalt ; KOEHLER *( A / - I - I - 2 )* et KOFFKA *( A / - I - I - 4 )* . Pour eux, la notion de sensation est inutile ; les formes sont des individualités propres qu'il s'agit d'étudier en tant que telles, sans oublier cependant qu'elles dépendent d'un certain nombre de variables ; Paul GUILLAUME insiste sur ce point dans " La Psychologie de la forme" *( A / - I - I - 5 )* où il précise : " Le problème de perception consiste à déterminer la constellation physique d'excitants qui correspond à chaque forme perçue

et les variations de la première qui modifient la structure de la seconde . Chaque forme est une fonction de plusieurs variables et non plus une somme de plusieurs éléments..." L'idée fondamentale de la "Gestalt" est qu'une forme est un "tout" ayant des propriétés distinctes de ses parties .

A - I - 2 - Principe de la ségrégation d'une forme sur un "fond" : "prégnance d'une forme" . (A / - I - 1)

La constatation fondamentale des Gestaltistes est que la ségrégation s'effectue selon un certain nombre de règles non dictées par la signification attribuée aux formes ni par un simple apprentissage associatif : la proximité des éléments constitutifs, leur ressemblance d'une part..., la régularité, la simplicité et la symétrie de leur disposition d'autre part..., sont autant de conditions favorables à la perception globale d'une forme dont on dit alors qu'il sagit d'une "bonne forme" ou d'une forme à forte "prégnance" .

Les lois qui régissent la ségrégation d'une forme (c'est-à-dire la dissociation de ce qui lui est propre sur l'image rétinienne... vis à vis de ce qui appartient au fond ou aux autres formes) sont si complexes qu'il serait impossible d'en entreprendre la simulation exhaustive . Pour en convaincre le lecteur, nous allons rappeler deux expériences de KOFFKA qui montrent que ce processus n'est pas entièrement déterminé par les contrastes de l'image rétinienne ; dans le cas de ces expériences, il existe une interaction entre le découpage du plan de l'image en plusieurs zones et la perception des dégradés ou des couleurs :

- première expérience : un disque tournant blanc comportant un segment noir suivant un de ses rayons...est vu gris, avec dégradation du centre vers la périphérie . si on ajoute sur ce disque des cercles noirs concentriques régulièrement espacés, les anneaux gris perçus ont une teinte uniforme et le dégradé n'apparait que dans le passage discontinu de l'un à l'autre .

- deuxième expérience : un anneau gris est centré sur la frontière entre deux "fonds" l'un vert et l'autre rouge . Lorsque la frontière précédente est matérialisée par un fil noir coupant l'anneau en deux, les deux demi-anneaux apparaissent avec la couleur complémentaire du fond sur lequel ils se trouvent (rouge sur le fond vert et vert sur le fond rouge) ; si le fil noir est retiré, ce phénomène disparait .

Nous ne rappellerons pas ici les nombreux phénomènes d'illusion qui ont retenu l'attention des psychologues pendant longtemps : ces illusions mettaient en général en évidence l'existence de conflits entre plusieurs groupements d'éléments possibles, mais l'étude de ces anomalies de la perception n'ont jamais conduit à l'expression de lois générales comme on l'avait espéré... Nous citerons cependant les

travaux de E. VURPILLOT *(A / - I - 2 - 2 1 )* qui apportent un correctif important à la théorie Gestaltiste : elle montre en effet qu'un basculement perceptif se produit et détruit une illusion, lorsqu'une signification est induite par un détail ajouté à la figure ambigüe initiale ; nous reviendrons dans le prochain paragraphe à l'effet du contexte sur d'identification et la ségrégation que celle-ci suppose ...'

D'une façon générale, on peut dire que les faits expérimentaux dans ce domaine ont permis d'élaborer puis de perfectionner des théories globales de la segmentation suggérées par l'école de la Gestalt..., mais qu'il ne parait guère possible d'en déduire un processus soujacent susceptible d'expliquer tous les comportements perceptifs observés . L'orientation des travaux de GIBSON *( A / - I - I - 50 )* est par contre plus favorable à l'interprétation de la perception visuelle comme un certain type de traitement de l'information [1] contenue dans la lumière diffusée par les objets du champ visuel . On lui doit d'avoir insisté sur le rôle de l'orientation et de la rugosité des surfaces dans cette diffusion et d'avoir ainsi suggéré l'importance de la texture dans la ségrégation des objets ainsi que dans l'interprétation des ombres et des reflets . Nous nous sommes inspirés de ce point de vue au chapitre I - 3 .

A - I - 3 - Rôle joué dans cette ségrégation par la signification qu'ont acquises les formes dans la représentation des objets (Contexte et identification) *(A / - I - 2 )*

Solidaire de l'école Gestaltiste, Paul GUILLAUME précise dans l'ouvrage cité précédemment *(A / - I - I - 5)* : "Dans la vie ordinaire, la distinction figure-fond joue un rôle important . C'est par elle qu'une hiérarchie s'établit dans notre

[1] Nous devons remarquer les positions de F. BRESSON ( A-I-I-69) qui semble s'opposer à toute assimilation de la perception à un processus de traitement de l'information ... et même à l'idée d'une segmentation à partir des propriétés de l'image rétinienne ? Ses arguments sont de deux types :

- Tout d'abord, il souligne le danger qu'il y a à isoler la perception du comportement général comme on l'a fait dans toutes les expériences de laboratoire dont il vient d'être question, et dont les contraintes sont telles que l'essentiel du phénomène étudié a disparu... Ce point de vue qu'il soutient en citant plus particulièrement le rôle de la coordination visuo-motrice dans l'appréhension de l'espace (expériences sur des chats ou des singes élevés sans voir leurs membres (A/ 1-1-37) (A/ 2-61) , adaptation de sujets à l'utilisation de lunettes déformantes qui n'est rendus possible que si celui-ci est maitre de ses déplacements (A/-I-I-40) etc, apprentissage de l'usage de prothèses tactiles simulant la rétine pour des aveugles (A/-I-I-66))est aujourd'hui partagé par la plupart des psychologues .

- D'autre part F. BRESSON a montré l'assimilation progressive chez l'enfant d'invariances définissant des sous-algèbres de LIE ( A/-I-I-52) qui constituent selon lui le phénomène essentiel expliquant à la fois les phénomènes perceptifs et leur ontogénèse .

Pour nous, il ne semble cependant pas y avoir une contradiction fondamentale entre ces deux types de constatations et le fait qu'il puisse y avoir un processus de traitement de l'information équivalent aux divers comportements analysés ...

champ de perception entre les "choses" et un milieu neutre qui se trouve ramené à un degré inférieur de différentiation"... et plus loin : " ... dans des conditions médiocres de visibilité, on aperçoit "quelque chose" qu'on situe, et qu'on limite sans pouvoir l'identifier à un objet connu ; la ségrégation précède la question sur la nature de l'objet, elle en est la condition."

Ce dernier point fût l'objet d'une contreverse avec M.L. DESHAYES que Robert FRANCES commente ainsi, au début du chapitre 3 consacré à ce problème dans " Le Développement Perceptif" *(A / - I - I - 42)* : "...la priorité dans le temps de l'organisation (ou plutôt d'un certain degré ou état d'organisation) par rapport à la signification qu'elle évoque n'exclut nullement une action en retour de celle-ci sur celle-là . De toute évidence, ce sont des indices formels rangés dans un certain ordre global qui rappellent un objet . Mais ce rappel est-il sans effet sur l'ordre initial ? Nous ne le croyons pas, car de nombreux faits prouvent le contraire . "

Robert FRANCES rappelle d'autre part que d'après A. GEMELLI *(A / - I - 2 - 2)* et la confirmation des idées avancées par celui-ci par les expériences de A. DALLA VOLTA *(A / - I - 2 - 5)* sur la "projection" d'une signification sur des formes a priori non significatices..." la perception peut se décomposer en trois phases : l'organisation des données sensorielles, l'attribution à celles-ci d'une signification déduite de l'expérience antérieure du sujet, puis la dénomination. Il précise même que ce phénomène peut intervenir contre la volonté de l'expérimentateur dans beaucoup de cas où un matériel supposé non signifiant est présenté à des sujets en vue de l'étude de la ségrégation à partir des seules propriétés formelles du stimulus..." La signification peut d'ailleurs elle-même intervenir au niveau de l'assimilation des stimuli à des formes géométriques simples..." Dans le même ordre d'idées il est rappelé que J.S. BRUNER et A.L. MINTURN *(A / - I - 2 - H)* ont montré que le défaut de connexité entre la barre verticale d'un B et ses boucles..." n'entraine une confusion systématique avec le nombre 13 que dans le cas où cette signification est induite par un contexte de présentation parmi d'autres nombres et non parmi des lettres seulement..." Robert FRANCES conclut en précisant "..." que l'élimination de tout effet des significations, même dans l'établissement du rapport figure-fond est une prétention excessive."

Ceci revient à dire que la délimitation parfaite des objets n'est pas un préalable absolu à leur identification, qui repose sur une certaine redondance de l'image vis-à-vis de l'information acquise antérieurement sur des objets de même nature..." Les différentes

hypothèses d'identification correspondraient alors à différentes extrapolations possibles a posteriori des éléments de contours préalablement extraits de l'image .

D'une façon générale, on peut préciser que le contexte extérieur au sujet n'est pas seul à intervenir ; la perception ne peut être isolée du comportement général de celui-ci, ainsi que nous l'avons annoncé page 78 , en note . Pour analyser le phénomène d'attention correspondant, il serait intéressant de pouvoir définir un "indice de vigilance" moins général que celui proposé par les physiologistes et plus lié à la tâche proposée au sujet ... Le problème est posé, mais il ne semble pas qu'on ait trouvé pour l'instant le moyen de caractériser l'adaptation du comportement à la tâche fixée, à partir des seuls enregistrements de l'E E G, et l'E O G (électro-culogramme) et du tonus musculaire ...

Enfin, il serait probablement intéressant d'étudier systématiquement les apports mutuels de l'acquisition du langage concret chez l'enfant et de ses performances cognitives ; les travaux de l'école de PIAGET ainsi que les recherches entreprises par F. BRESSON en phycholinguistique... apporteront peut être des éclaircissements sur le rôle particulier joué par la langue utilisée par le sujet ? Ceci rejoint nos préoccupations quant à la description linguistique du contexte et à l'utilisation éventuelle de celle-ci pour l'identification (chapitre 2 - 2) .

## A - 2 - RESULTATS RECENTS ET RECHERCHES EN COURS EN PSYCHOPHYSIOLOGIE DE LA VISION *(A / -2)*

A - 2 - I - Présentation des connaissances actuelles sur le fonctionnement du système visuel des mammifères supérieurs.

La constitution anatomique de la rétine est rappelée à la figure 115. Les cellules sensibles formées par les cônes et les bâtonnets transforment la lumière en influx nerveux par l'intermédiaire de pigments visuels. Les cônes dont la réponse spectrale correspond à la vision photopique (vision diurne colorée) se trouvent groupés dans la fovéa et autour de celle-ci (macula) ; les bâtonnets dont la réponse spectrale correspond à la vision scotopique (vision nocturne non colorée) sont répartis à la périphérie... Les cellules bipolaires assurent la connection entre le plexus superficiel constitué par les extrémités présynaptiques des cônes et des bâtonnets, au plexus profond où se trouvent les synapses avec les cellules ganglionnaires constituant le nerf optique. La région fovéale est caractérisée par le très petit nombre de cellules sensibles raccordées à une ganglionnaire et la forte acuité visuelle qui en résulte ; la région périphérique est au contraire caractérisée par le grand nombre de cellules sensibles raccordées à une même ganglionnaire et la sensibilité ainsi obtenue par addition des stimulations. Des effets d'intégration spatiale expliquant le caractère global de la notion de "champ réceptif" introduite par HUBEL et WIESEL (voir plus loin) ... peuvent être attribués à l'effet des connections latérales introduites par les cellules horizontales au niveau du plexus superficiel et par les cellules amacrines au niveau du plexus profond.

L'organisation des afférences de la rétine vers les structures sous-corticales et le cortex se trouve décrite par la figure 116 ; on a négligé systématiquement les commandes oculomotrices d'exploration et de convergence qui jouent un rôle important dans la vision, ainsi que l'arc réflexe de la commande de l'iris ...

Lorsque M. JEANNEROD parle des "deux mécanismes de la vision" *(A / - 2 - 83)*, il fait allusion à l'existence de deux voies afférentes distinctes à partir de la rétine :

- une voie spécifiquement optique comprenant les ganglionnaires qui forment le nerf optique et, au delà du chiasma, les bandelettes optiques ... puis les cellules du corps genouillé projetant sur le cortex strié (aire 17), et également sur

les cortex péri et parastriés (aires 18 et 19) . Le chiasma aiguille contralatéralement la plupart des afférences, sauf celles qui proviennent de la rétine temporale dont la latéralisation est conservée . Une correspondance topologique des excitations avec la position des stimuli dans le plan de l'image rétinienne est conservée sur les ganglionnaires, puis sur les cellules du corps genouillé et sur certaines cellules dites à "champ réceptif simple" de l'aire 17 . Nous reviendrons au prochain paragraphe sur cette propriété établie par les expériences de HUBEL et WIESEL qui sont à la base de la simulation présentée au chapitre 1 - 3 - 4 -

- une voie associative vers les tubercules quadrijumeaux antérieurs, qui eux-mêmes projettent sur différentes aires corticales (frontales, temporales, cortex moteur...) . Les fibres en provenance des deux rétines sont disposées en couches successives dans les tubercules quadrijumeaux qui jouent donc probablement un rôle dans la comparaison des deux images ; de plus, on peut préciser que ces fibres répondent à des stimuli localisés sur l'image rétinienne, mais ceci sans assurer des fonctions précises d'extraction ou de codage des contours comme dans l'autre voie (il existe par contre des projections du cortex strié sur les quadrijumeaux qui seraient susceptibles d'y apporter cette information) . Par implantation de microélectrodes dans les tubercules quadrijumeaux antérieurs, on trouve enfin une couche de cellules où les excitations sont fortement corrélées avec la période de préparation de la saccade oculaire d'exploration, dont on cherche actuellement à trouver l'origine dans l'exploitation de l'information prélevée par la rétine périphérique (A. LEVY -SCHOEN *(A / - 2 - 45)* *(A / - 2 - 67)*)...On pourrait expliquer, à partir de l'existence de cette seconde voie visuelle, les faits observés par N.D. HUMPHREY *(A / - 2 - 63)* sur le singe qui "voit sans reconnaitre" après ablation du cortex occipital, et sur l'homme par F. LHERMITTE, F. CHEDRU et F. CHAIN *(A / - 2 - 84)* dans des cas d'agnosies corrélés avec la présence de tumeurs dans le cortex visuel... La fonction de coordination perceptivo-motrice de cette voie est d'autre part confirmée, en particulier par les travaux de P-A- BUSER *(A / - 2 - 64)*, de S.D. IVERSEN *(A / - 2 - 62)* et de A. HEIN *(A / - 2 - 61)*... Enfin, précisons qu'il existe des afférences de la formation réticulée auxquelles on peut attribuer un rôle dans les phénomènes d'attention perceptive ..."

Il est intéressant également pour les informaticiens travaillant sur la reconnaissance automatique des formes..., de signaler que les considérations précédentes conduisent à dissocier la classification des formes de leur interprétation dans un contexte connu : on a montré que les agnosiques pouvaient effectuer la première de ces

opérations mais pas la seconde..« L. VIGNOLO *(A / - 2 - 70)*, en étudiant un certain nombre de cas de lésions hémisphériques unilatérales, a obtenu des résultats tendant à localiser dans des hémisphères opposés ces deux fonctions distinctes..« Comme la seconde met en jeu tout particulièrement la mémoire, il semble beaucoup plus difficile pour l'instant de confirmer ces résultats par une étude de l'organisation des tissus nerveux, la physiologie actuelle n'appréhendant pas encore le support physique ni le principe de fonctionnement de la mémorisation ..« Quoi qu'il en soit, la notion de décision d'identification utilisée en reconnaissance automatique des formes semble bien correspondre à deux types de traitements distincts dans le système visuel . «

A - 2 - 2 - Résultats obtenus par HUBEL et WIESEL en explorant la voie optique spécifique, chez le chat et le singe, par implantation de microélectrodes unitaires .

*(A / - 2 - 12) (A / - 2 - 17) (A / - 2 - 19) (A / - 2 - 20) (A / - 2 - 21) (A / - 2 - 24) (A / - 2 - 25) (A / - 2 - 28) (A / - 2 - 29) (A / - 2 - 39) (A / - 2 - 40)*

Notion de "champ réceptif" d'un neurone du système visuel :

Lorsqu'on implante une microélectrode (ou micropipette) dans une ganglionnaire, dans une cellule du corps genouillé, ou dans une cellule dite "à champ réceptif simple" du cortex strié, on peut constater que l'effet excitateur ou inhibiteur d'un stimulus optique disparait aussitôt que celui-ci est écarté d'un voisinage assez réduit localisé sur la rétine ; ce voisinage est appelé le "champ réceptif" de la cellule qui peut alors être considérée comme un détecteur de propriété locale de l'image rétinienne : c'est cette propriété que nous avons annoncée plus haut en parlant de correspondance topologique entre l'image rétinienne et le pattern spatio-temporel des différentes fibres du nerf optique, du corps genouillé et du cortex strié .

Champ réceptif des ganglionnaires : (figure 117 )

Il en existe de deux types ; les champs réceptifs de cellules "ON" , et les champs réceptifs de cellules "OFF" ; ils représentent tous deux une symétrie de révolution et leurs frontières sont circulaires .

Une cellule "ON" est telle que l'excitation du centre du champ réceptif provoque l'augmentation de la fréquence des spikes pendant la durée du flash utilisé comme stimulus ; lorsqu'on augmente le diamètre de ce stimulus sur la rétine, on constate une réduction progressive de cette réponse ; enfin, lorsque le centre du champ réceptif est masqué et que le stimulus lumineux prend la forme d'une couronne centrée, on constate la diminution ou suppression du signal pendant le flash, accompagné d'apparition de spikes après la fin de celui-ci .

Pour une cellule "OFF" , des phénomènes analogues sont observés, mais les zônes excitatrices et inhibitrices sont permutées par rapport au cas précédent .

Champ réceptif des cellules du corps genouillé

Il existe également des cellules "ON" et des cellules "OFF" , dont la répartition des zônes excitatrices et inhibitrices est analogue aux précédentes . Le diamètre de ces champs réceptifs est cependant plus grand que dans le cas précédent

et ils couvrent de ce fait plusieurs champs réceptifs de ganglionnaires se chevauchant . La mise en série de ces détecteurs de contrastes a dans ces conditions pour effet de réduire le bruit lié aux discontinuités de brillance isolées . '

Cellules à champ réceptif "simple" du cortex strié (aire 17) : (figure 118)

Il en existe 3 types principaux : les champs réceptifs formés par un rectangle allongé dont l'axe est excitateur alors que les bords sont inhibiteurs ("Barres lumineuses")..., les champs réceptifs déduits des précédents en échangeant les zônes inhibitrices et excitatrices ("Barres noires")... et les champs réceptifs formés par un rectangle allongé dont l'axe est une transition entre deux moitiés excitatrices et inhibitrice ("Transitions") . Le grand axe de ces champs réceptifs rectangulaires peut avoir une vingtaine de directions régulièrement disposées entre 0° et 180° .

Les études de HUBEL et WIESEL ont porté sur la distribution de ces différents détecteurs de direction, à fin de préciser des hypothèses éventuelles de connection fondées sur leur proximité : ils ont trouvé que des directions identiques correspondent à de petites surfaces du cortex, et que par contre en s'enfonçant perpendiculairement à ces surfaces , la direction détectée change par sauts successifs . Cette distribution et le fait que ces champs réceptifs rectangulaires recouvrent un grand nombre de champs réceptifs circulaires du paragraphe précédent...conduit à des hypothèses de connection expliquant le fonctionnement . '

Précisons enfin que la sensibilité de ces détecteurs de direction est augmentée par des déplacements perpendiculaires aux contours dont ils assurent l'extraction et le codage (ces contours sont les enveloppes des segments correspondants)...(ceci n'est pas de nature à étonner les électroniciens qui recourent souvent à des différentiations temporelles pour augmenter l'amplitude de signaux à détecter...')

Cellules à champ réceptif "complexe", nombreuses dans le cortex péristrié (aire 18) et plus rares dans le cortex strié (aire 17) et dans le cortex parastrié (aire 19) :(figure 119)

La réponse des cellules à champ réceptif "complexe" est analogue à celle des cellules à champ réceptif "simple", mais elle suppose un déplacement perpendiculaire à la direction détectée ; elle se traduit par une augmentation de la fréquence des spikes qui dépend de la vitesse et du sens de déplacement (il est fréquent qu'il n'y ait aucune réponse pour l'un des deux sens) ; cette réponse est maxima lorsque le stimulus couvre toute la longueur du champ réceptif .

La dimension de ces champs réceptifs est minima au centre de l'aire 18, mais peut atteindre sur les bords de cette aire des valeurs très supérieures à celles rencontrées dans l'aire 19 ou 17 .

Cellules à champ réceptif "hypercomplexes", nombreuses dans le cortex parastrié (aire 19) et plus rares dans le cortex péristrié (aire 18) : (figure 120)

Un champ réceptif "hypercomplexe" est caractérisé par des zônes antagonistes qui doivent être masquées pour que la réponse au stimulus appliqué à la zône active soit maxima . Il en résulte une grande spécifité de cette réponse au déplacement de masques en forme de coins ou de languettes... réalisant cette condition ; comme dans le cas des cellules à champ réceptif "complexe" , il est fréquent que le déplacement perpendiculaire à la direction préférentielle donne une réponse dans un sens et pas dans l'autre .

# B I B L I O G R A P H I E

## 0 / DESCRIPTION DE PROCEDES DE TRAITEMENT DE PHOTOGRAPHIES DESTINES A DES APPLICATIONS DIVERSES .


1 G.C. CHENG , "Pictorial pattern recognition", Pattern Recognition, Vol. I, n° 3, mars 1969 .

2 SHIRAI , "Automatic inspection of X-ray Photograph of welding", Pattern Recognition, Vol I, n° 4, juillet 1969 .

3 BROWN, "Pattern recognition problems in bubble chamber physics", Pattern recognition, Vol I , n° 4, juillet 1969 .

4 ROSENFELD, HUANG, SCHEIDER, "Application of cluster detection to text and picture processing" , IEEE Trans. Information Theory, Vol IT 15, n° 6, nov. 1969 .

5 BLOCH, " La mesure automatique des clichés de chambres à bulles ", Nucleus, Tome 10, n° 6, 1969 .

6 D. RUTOVITZ, " Centromere finding : some shape descriptors for small chromosome outlines", Machines Intelligence 5 Workshop, Edinburgh 1969 .

7 K . A. PATON, "Conic sections in automatic chromosomes analysis" Machines Intelligence 5 Workshop, Edinburgh 1969 .

8 A. ROSENFELD, "Picture processing by computers", ed. Academic Press, 1969 .

9 G. BARSKI, J.W. BUTLER, R.J. THOMAS, "Computer analysis of animal cell movement in vitro", Experimental Cell Research, n° 56, 1969 .

10 K.A. PATON, "Conic sections in chromosome analysis", Pattern Recognition, Vol 2, n° I, janvier 1970 .

11 J.L. HARRIS, "Information extraction from diffraction limited imagery", Pattern Recognition , Vol 2, n° 2, mai 1970 .

12 G.M. ROBBINS, " Image restoration for a class of linear spatially-variant degradations", Pattern Recognition, Vol 2, n° 2, mai 1970 .

13 R.V. SHACK, "Image processing by an optical analog device", Pattern Recognition, Vol 2, n° 2, mai 1970 .

14 J.W. GOOIMAN, W.T. RHODES, "An optical system designed for image processing", Vol 2, n° 2, mai 1970 .

15 J.C. MOLBON, "High-resolution image estimation in a turbulent environment", Pattern Recognition, Vol 2, n° 2, mai 1970 .

16 E.M. DARLING, G. RAUDSEPS, "Non-parametric unsupervised learning with applications to image classification", Pattern Recognition, Vol 2, n°4, décembre 1970 .

17 J.A. DUNNE, "Mariner 1969 television image processing", Pattern Recognition, Vol 2, n° 4, décembre 1970 .

18 Le GO, "Le cariotype automatique", Génie Biologique et Médical, Vol 1, n° 2, 1970 .

19 L.C. WILKINS, P.A. WINTZ, "Bibliography on data compression pictures properties and picture coding", IEEE Trans. Information Theory, Vol IT 17, n° 2, mars 1971 .

20 A.J. GOLDSTEIN, L.D. HARMON, A.B. LESK, "Identification of human faces". Proc. IEEE, Vol 59, n° 5, mai 1971 .

21 J.C. SIMON, G. GUIHO, "Picture representation and transformation by computer", Pattern Recognition, Vol 3, n° 2, juillet 1971 .

22 F.W. SMITH, M.H. WRIGHT, "Automatic ship photo interpretation by the method of moments", IEEE Trans. Computers, Vol C 20, n° 9, septembre 1971 .

23 H.S.WHITE, "Finding events in a sea of bubbles", IEEE Trans. Computers, Vol C 20, n° 9, septembre 1971 .

24 P.L. BASTIEN, L.A. DUNN, "Global transformation in Pattern Recognition of bubble chamber photographs", IEEE Trans. Computers, Vol C 20, n° 9, sep.71 .

25 A. KLINGER, A. KOCHMAN, N. ALEXANDRIDIS, "Computer Analysis of chromosomes patterns : feature encoding for flexible decision making", IEEE Trans. Computers, Vol C 20, n° 9, septembre 1971 .

26 E.L. HALL, R.P. KRUGER, S.J. DWYER, D,L, HALL, R.W. Mc LAREN, O.S. LODWICK, "A survey of preprocessing and feature extraction techniques for radiographics images", IEEE Trans. Computers, Vol C 20, n° 9, septembre 1971 .

27 A.M. LESK, "Pictoral pattern recognition and the phase problem of X-ray crystal lography", Communication ACM, Vol 15, n° 1, janvier 1972 .

28 B.H. KAYE, "Efficient pattern recognition in fine particle science", Pattern Recognition, Vol 4, n° 2, mai 1972 .

29 LE GO, "Etudes pour une méthode d'automatisation des analyses chromosomiques rapport CEA-R-4325, octobre 1972,(Thèse présentée à l'Université de PARIS VI (Faculté de Médecine Pitié-Salpétrière) pour un Doctorat en biologie humaine , mai 72).

30 A.I. MEDIALA, C.J. HORNIK, "Pattern Recognition problems in the study of carbon block", Pattern Recognition, Vol 4, n° 2, mai 1972 .

31 E.W. WHITE, K. MAYBERRY, G.C. JOHNSON, "Computer analysis of multi-channel SEM and X-ray images from fine particles", Pattern Recognition, Vol 4, n° 2, mai 1972 .

32 B.H. KAYE, A.G. NAYLOR, "An optical information procedure for characterizing the shape of fine particles, "Pattern Recognition, Vol 4, n°2, mai 1972 .

33 R. S. LEDLEY, "Analysis of cells", IEEE Trans. Computers, Vol C 21, n° 7, juillet 1972 ,

34 D.J. HALL, R.M. ENDLICH, D.E. WOLF, A.E. BRAIN, "Objective methods for registring landmarks and determining cloud motions from satellite data", IEEE trans. Computers, Vol C 21, n° 7, juillet 1972 .

35 R.C. STRAND, "Optical image recognition for experiments in the track chamber of high-energy physics", Proc. IEEE, Vol 60, n° 10, octobre 1972 .

36 G. NAGY, "Digital image processing activities in remote sensing for earth ressources", Proc. IEEE, Vol 60, n° 10, octobre 1972 .

37 S.S. SANDLER, "Direct three dimentional analysis of electron micrograph pictures", Pattern Recogn tion, Vol 4, n° 4, décembre 1972 .

38 E. KAHN, "Un système d'analyse optique : le CALIFE . I / L'étalonnage . 2 / Reconnaissance de formes sur photographies aériennes . " Nouvelle revue d'optique, Tome 3, 1972 .

39 R. GALINARO, "Système de dépouillement des clichés photographiques ; perspectives à court terme et moyen terme en astronomie", INAG/ TECH- 72-25, 1972 .

40 G.K. MEGLA, "Le "LARC", analyseur automatique de globules blancs", Automatisme, T 18, n° 6 et 7, juin-juillet 1973 .

## 1 / DELIMITATION DES SURFACES COUVERTES PAR CHACUN DES OBJETS REPRESENTES SUR LA PHOTOGRAPHIE ANALYSEE .

### 1 / A / PRISE D'INFORMATION SUR L'IMAGE .

1 Y. JAMATI, "Le capteur de la machine à lire de René de POSSEL et ses applications", colloque international sur la Reconnaissance de Forme, Grenoble, septembre 1968 .

2 Y. NOURISSAT, "L'analyseur d'images "CALIFE" ", l'Onde électrique, Vol 49, Fasc. 8, septembre 1969 .

3 ANDO, ISHIHARA, AKHAOSHI, "A self-scanned image sensor employing M O S structure", IEEE Proc., Vol 58, n° 2, février 1970 .

4 LENDARIS, STANLEY, "Diffraction-pattern sampline for automatic Pattern recognition", IEEE Proc., Vol 58, n° 2, février 1970 .

5 G. PALMIERI, "Image devices for Pattern Recognition", Pattern Recognition Vol 3, n° 2, juillet 71 .

6 T. GOLAB, R.S. LEDLEY, L.S. ROTOLO, "F I D A C , film input to digital automatic computer", Pattern Recognition, Vol 3, n° 2, juillet 1971 .

7 G.A. MOORE, "Design og a pratical scanner unit for precision analysis of micrographs", Pattern Recognition, Vol 3, n° 2, juillet 1971 .

8 F. BECK, "The special features of POLLY : How they are used automatic scanning", IEEE Trans. Computers, Vol C 20, n° 9, septembre 1971 .

9 R. GALINARO, "Système de dépouillement des clichés photographiques ; perspectives à court terme et moyen terme en astronomie", I N A G/ TECH 72-25, 1972 .

## 1 / B / REPRESENTATION DISCRETE D'UNE IMAGE .

1 R. de POSSEL, "Cours d'analyse numérique", Paris 6, 1967-1968 .

2 ROSENFELD, PFALTZ, "Distance Functions on digital pictures", Pattern Recognition, Vol 1, n° 1, juillet 1968 .

3 A. ROSENFELD, "Picture processing by computer", ed. Academic Press, 1969 .

4 M. MINSKY, S. PAPERT, "Perceptrons; an introduction to computational geometry", ed. M I T Press, 1969 .

5 J. SLANSKY, "Measuring concavity on a rectangular mosaic", IEEE Trans. Computers, Vol C 21, n° 2, décembre 1972 .

6 M. REYNAL, " 1/ Traitement automatique des images. 2/ Applications biomédicales". thèse d'Université soutenue à Tours en 1972 .

## 1 / C / SEGMENTATION DES IMAGES ET EXTRACTION DES CONTOURS .

1 L.D. HARMON, "A line drawing pattern recognition", Proc. Western Joint Computer Conference, mai 1960 .

2 M.E. STEVEN, "Abstract shaper recognition by machine", A F I P pub. Vol 20, Proc. of the 1961 Eastern Joint Computer Conference, Washington, 1961.

3 R. de POSSEL, "Procédé de lecture automatique de l'écrite manuscrite",Congrès d'analyse numérique, MONS, 1961 .

4 M. EDEN, "Hanwritten and pattern recognition", IRE Trans. Information Theory, Vol IT 8, n° 2, février 1962 .

5 R. de POSSEL, 'Lecture automatique extensive", Automatisme, Vol 7, n° 9, septembre 1962 .

6 R. de POSSEL, "La lecture automatique, un essai de réalisation", Automatisme Vol 10, n° 10, octobre 1965 .

7 MUCHNICK, "Local characteristic formation algorithms for visual patterns", Automation and remote control, T 27, n° 10, octobre 1966 .

8 D. CHENAIS, G. GARETE, "Reconnaissance automatique des formes", Journées d'électronique, colloque international sur l'informatique médicale, TOULOUSE, mars 1966 .

9 R. DE POSSEL, "Lecture automatique et problèmes de reconnaissance de formes", Automatisme, Vol 13, n° 9, septembre 1968 .

10 J.C. SIMON, "Procédure de reconnaissance de forme", Colloque sur la reconnaissance de forme", GRENOBLE, septembre 1968 .

11 R.S. LEDLEY, F.H. RUDDLE, J.B. WILSON, M.BELSON, J.ALBARRAN, "The case of the touching and overlapping chromosomes", Pictorial Pattern Recognition, ed. CHENG, LEDLEY, POLLOCK, ROSENFELD,... Thomson, 1968 .

12 J.L. MUERLE, D.C. ALLEN, "Experimental evaluation of technique for automatic segmentation of objects in a complexe scene", Pictorial Pattern Recognition, ed. CHENG, LED_LEY, POLLOCK, ROSENFELD,... Thomson, 1968 .

13 T. SAKAI, M. NAGAO, S. FUJIBAYASHI, "Line extraction and pattern detection in a photograph", Pattern Recognition, Vol 1, n° 3, mars 1960 .

14 M.D. LEVINE, "Feature extraction : a survey", Proc. IEEE, Vol 57, n° 8, aout 69.

15 SAKAI, NAGAO, FUJIBAYASHI, KIDODE, "Line extraction and pattern detection in a photograph", Information processing in Japan, Vol 9, 1969 .

16 W.L. MATSON, H.A. Mc. KINSTRY, G.G. JOHNSON, E.W. WHITE, R.E. Mc MILLAN, "Computer processing of S E M images by contour analyses". Pattern Recognition, Vol 2, n° 4, décembre 1970 .

17 F. FUKUSHIMA, "A feature extractor for curvilinear patterns : design suggested by the mammalian visual systeme", Kybernetik, septembre 1970 .

18 A. KLINGER, "Pattern with a given angle", Communication ACM, Vol 14, n° 1, janvier 1971 .

19 E. ARGYLE, A. ROSENFELD, "Technique for edge detection", Proc. IEEE, Vol 59, février 1971 .

20 R.L. HOFFMAN, "Segmentation methods for recognition of machine-printed characters", I B M Journal of res. and dev., Vol 15, n° 2, mars 1971 .

21 U. MONTANARI, "On the optimal detection of curves in noisy pictures", Communication ACM, Vol 14, n° 5, mai 1971 .

22 A.K. GRIFFITH, "Mathematical models for automatic line detection", Second Inter. Joint Conf. on Art. Intel., septembre 1971 .

23 K.K. PINGLE, J.M. TENENBAUM, "An accomodation edge follower", Secord. Inter. Joint. Conf. on Art. Intel., LONDRES, septembre 1971 .

24 G. FALK, "Scene analysis based on imperfect edge data", Second. Inter. Joint. Conf, on Art. Intel. , LONDRES, septembre 1971 .

25 R.O. DUDA, P.E. HART, "Use of the HOUGH transformation to detect lines and curves in pictures". Communication ACM, Vol 15, n° 1, janvier 1972 .

26 R.L. LILLESTRAND, "Techniques for change detection", IEEE Trans. Computers, Vol C 21, n° 7, juillet 1972 .

27 A. ROSENFELD, M. THURSTON, Y.H. LEE, "Edge and curve detection : further experiments", IEEE Trans. Computers, Vol C 21, n° 7, juillet 1972 .

28 E.A. SMITH, D.R. PHILLIPS, "Automated closed tracking using precisely aligned digital ATS pictures", IEEE Trans. Computers, Vol C 21, n° 7, juillet 1971 .

29 D.A. AUSHERMAN, S.J. DWYER, C.S. LODWICK, "Extraction of connected edges from knee radiographs", IEEE Trans. Computers, Vol C 21, n° 7, juillet 1972 .

30 A. ROSENFELD, H.Y. LEE, "A clustering heuristic for line-drawing analysis", IEEE Trans. Computers, Vol C 21, n° 8, aout 1972 .

31 T. PAVLIDIS, G.S. FANG, "A segmentation technique for waveforms classification", IEEE Trans. Computers, Vol C 21- n° 8, aout 1972 .

32 M. MOR, T. LAMDAN, "A new approch to automatic scanning of contours maps", Communication ACM, Vol 15- n° 9, septembre 1972 .

33 G.S. SIDHU, R.T. BOUTE, "Property encoding : application in binary picture encoding and boundary following", Vol C 21, n ° 11, novembre 1972 .

34 B.R. FRIEDEN, "Statistical estimate of bound optical scenes noise", IEEE Trans. Information Theory, Vol IT 19, n° 1, janvier 1973 .

35 A. BRUEL, J.C. CAZAUX, "Moyens et méthodes de traitement numérique des images", Symposium sur la perception visuelle et les systèmes homme-machine, LILLE, mai 1973 .

1 / D / SQUELETTISATION

1 O. PHILBRICK, "Shape description with the medial axis transformation", Pictorial Pattern Recognition, sd. CHENG, LEDDLEY, POLLOCK, ROSENFELD,... Thomson, 1968 .

2 D. RUTOVITZ, "Data structure for operation on digital images", Pictorial Pattern Recognition, éd. CHENG, LEDLEY, POLLOCK, ROSENFELD,... Thomson, 1968 .

3 E.E. TRIENDL, "Skeletonization of noisy handdraw symbols using parallel operations", Pattern Recognition, Vol 2, n° 3, septembre 1970 .

4 S. LEVIALDI, "On shrinking binary picture pattems", Communication ACM, Vol 15, n° 1, janvier 1972 .

5 E.S. DEUSCH, "Thinning algorithm on rectangular, hexagonal and triangular analysis", Communication ACM, Vol 15, n° 9, septembre 1972 .

1 / E / UTILISATION DE LA TEXTURE

1 A. ROSENFELD, "Automatic recognition technique applicable to high-information pictorial inputs", IEEE Inter. Conv. Rec., part 4, 1962 .

2 G. NAGY, "State of art in Pattern Recognition", Proc. IEEE, Vol 56, n° 5,mai 1968.

3 L. SAYN-WITTENGENSTEIN, "Pattern of spatial variation in forest and other naturel populations pattern recognition", Vol 2, n° 4, décembre 1970 .

4 J.J.O. PALGEN, "Applicability of pattern recognition technique to analysis of urban quality from satellites", Vol 2, n° 4, décembre 1970 .

5 J.M. IDELSOHN, "A learning system for terrain recognition", Pattern Recognition, Vol 2, n° 4, décembre 1970 .

6 A. ROSENFELD, M. THURSTON, "Edge and curve detection for visual scene analysis" , IEEE Trans. Computers, Vol C 20, n° 5, mai 1971 .

7 L. CARLUCCI, "A formal system for textural languages", Pattern Recognition, Vol 4, n° 1, janvier 1972 .

8 R.N. SUTTON, E.L. HALL, "Textures measures for automatic classification of pulmonary disease", IEEE Trans. Computers, Vol C 21, n° 7, juillet 1972 .

9 J.S. READ, S.N. JAYARALAMURTHY, "Automatic generation of texture feature", IEEE Trans. Computers, Vol C 21, n° 7, juillet 1972 .

10 E. KAHN, "Un système d'analyse optique : le CALIFE. 1/ L'étalonnage. 2/ Reconnaissance de formes sur photographies aériennes. "Nouvelle revue d'optique, Tome 3, 1972 .

## 2 / IDENTIFICATION DES OBJETS REPRESENTES A PARTIR DES PROPRIETES INTRINSEQUES DE L'IMAGE ET DE L'EXPRESSION SYSTEMATIQUE DU CONTEXTE EXTERIEUR A CELLE-CI , MAIS CONNU A PRIORI .

### 2 / A / CODAGE ET TRAITEMENT DES CONTOURS .

1 H. SHERMAN, "A quasi-topological method for machine recognition of line pattern, " Proc. Inter. Conf. on Information, UNESCO, Paris, 1959 .

2 J.S. WHOLEY, "The coding of pictorial data", IRE Trans. Information Theory, Vol IT 7, n° 2, avril 1961 .

3 H. FREEMAN, L. GARDER, "A pictorial jigsaw puzzles : the computer solution of a problem in pattern recognition", IEEE Trans. Computers, Vol EC 13, n° 2, avril 1964 .

4 A. VINEA, V. VINEA, "A distance criterion for figural pattern recognition", IEEE Trans. Comtupers, Vol C 20, n° 6, juin 1971 .

5 G.H., GRANLUND, "FOURIER preprocessing for handprint character recognition", IEEE Trans. Computers, Vol C 21, n° 2, février 1972 .

6 J. SLANSKY, R.L. CHAZIN, "Minimum perimeter polygons of digitized silhouettes", IEEE Trans, Computers, Vol C 21, n° 3, mars 1972 .

7 C.T. ZAHN, R.Z. ROSKIES, "FOURIER descriptors for plane closed curves", IEEE Trans.Computers, Vol C 21, n° 3, mars 1972

8 P.A. WINTZ, "Transform picture coding", Proc. IEEE, Vol 60, n° 7, juillet 72 .

9 A.V. OPPENHEIM, C.J. WEINSTEIN,"Effects of finite register length in digital filtering and the fast FOURIER transform", Proc. IEEE, Vol 60 . ° 8, aout 1972 .

10 J.SLANSKY, P.J. NAHIN, "A parallel mechanism for describing silhouettes", IEEE Trans. Computers, Vol C 21, n° 11, décembre 1972 .

2 / B / INTERPRETATION DE LA PERSPECTIVE .

1 L.G. ROBERTS, "Machine perception of three dimensional solids", Optical and electro-optical Information proc., éd. J.T. TIPPET, ... M I T Press, 1965 .

2 P.P.LOUTREL, "A solution to the "hidden line" problem for computer-drow polhyedra", N.Y. Univ. Dpt. of Elec. Eng, 1967 .

3 ...,"Cognitive information proceeding" cubic corners" ", Quaterly Progress Report, n° 89, avril 1968 .

4 A. APPEL, "Some techniques for shading machine reading of solids", A F I P S, Conf. Proc. Vol 32, 1968 .

5 J.E. WARNOCK, "A hidden surface algorithm for computer generated halftone perceptive pictures", Proc. IFIP, 1968 .

6 D. COULON, D. KAYSER, "Un exemple de reconnaissance de forme à l'aide d'ordinateur", L'onde électrique, Vol 50, Fasc 2, n° 515, février 1970 .

7 D.COULON, D. KAYSER, "Reconnaissance de parallélépipèdes dans une figure préalablement quantifiée", DEA d'Informatique pratique : reconnaissance des formes (Pr. J.C SIMON) 1970 .

8 Shi-Kco CHANG, "The reconstruction of binary patterns from their projections", Communication A C M, Vol 14, n° 1, janvier 1971 .

9 S.B. GRAY, "Local properties of binary images in two dimensions", IEEE Trans. Computers, Vol C 20, n° 5, mai 1971 .

10 C.B. JONES, "A new approach to the "hidden line" problem", The Computer Journal (British Computer Society), Vol 14, n° 3, aout 1971 .

11 Y. SHIRAI, S.TSUJI, "Extraction of line-drawings of 3-dimentional objects by sequential illumination from several directions", Second. Inter. Joint Conf. on Art. Intel., LONDRES, septembre 1971 .

12 R.GORDON, G.T. HERMAN, "Correction reconstructive of pictorial forms from their projection", Communication ACM, Vol 15, n° 2, février 1972 .

13 H. WILLIAMSON, "A420-hidden line plotting program", Communication ACM, Vol 15, n° 2, février 1972 .

14 Y. MATSUSHITA, "Hidden lines elimination for a rotating object", Communication ACM, Vol 15,n° 4, avril 1972 .

15 G. FALK, "Interpretation of imperfect line data as a three-dimensional scene", Artificial Intelligence, Vol 3, n° 2, été 1972 .

16 Y. SHIRAI, "Recognition of polyhedrons with a range finder", Pattern Recognition, Vol 4, n° 3, octobre 1972 .

17 Y. SHIRAI, S.TSUJI, "Extraction of the line drawing of 3-dimentional objects by sequential illumination from several directions", Pattern Recognition, Vol 4, n° 4, décembre 1972 .

## 2 / C / LANGAGES GRAPHIQUES ET DEFINITION DE CONCEPTS .

1 R. NARASIMHAN, "Labelling schemata and syntactic descriptions of pictures", Information and Control, Vol 7, 1964 .

2 R. NARASIMHAN, "Syntax directed interpretation of classes of pictures, "Communication ACM, Vol 9, n°3, mars 1966 .

3 E. CASSIRE, "On the theory of the formation of concepts", Pattern Recognition, éd. L.UHR,.. John Wiley, 1966 .

4 R.B. BANERJI, "A formal model concept description and manipulation", Psycologische Studien zur Informationverarbeitung bei Menschen, Symposium du 18è Congrès Inter. de Psychologie, MOSCOU, 1966 (ed. Academie Verlag, BERLIN, 67) .

5 R.H. SHERMAN, "A model of concept learning", thèse de Master of Engineering, Case Western Reserve University, juin 1968 .

6 R.B. BANERJI, "A langage for pattern recognition", Pattern Recognition, Vol 1, n° 1, juillet 1968 .

7 A. GRASSELLI, "Travaux effectués au IEI (Instituto Elaboratione Informationi, PISE) sur le traitement des images", Colloque Inter. sur la Reconnaissance de Forme, GRENOBLE, septembre 1968 .

8 J.L. PFALTZ, J.W. SNIVELY , Jr ET A. ROSENFELD, "Local and global picture processing by computer", Pictorial Pattern Recognition, ed. CHENG, LEDDLEY, POLLOCK, ROSENFELD,... Thomson , 1968 .

9 SHERMAN, ERNST, "Learning patterns in terms of other patterns", Pattern Recognition, Vol 1, n° 4, juillet 1969 .

10 P. BUNEMAN, "A grammar for topological analysis of planes figures", Machine Intelligence 5 Workshop, EDINBURGH, 1969 .

11 M. PAVEL, "Fondements mathématiques de la Reconnaissance des structures", éd. Herman, 1969 .

12 DACEY, "The syntax of a triangle and some other figures", Pattern Recognition, Vol 2, n° 1, janvier 1970 .

13 R. NARASIMHAN, "Picture Language", éd. S. KANEFF,... Academic Press, 1970 .

14 M.B. GLOW, "Picture syntax", éd. S. KANEFF,... Academic Press, 1970 .

15 I.D.G. MACLEOD, "On finding structure in pictures", éd. S. KANEFF,... Academic Press, 1970 .

16 G. BRACCHI, D. FERRARI, "A language for treating geometric patterns in a two-dimensional space", Communication ACM, Vol 14, n° 1, janvier 1971 .

17 M.F. DACEY, "POLY : A two-dimensional language for a class of polygons", Pattern Recognition, Vol 3, n° 2, juillet 1971 .

18 O. FIRSCHEIN, M.A. FISCHLER, " A study in descriptive representation of pictorial data", Second. Inter. Joint Conf. on Art. Intel., LONDRES, septembre 71 .

19 E.L. MOROFSKY, A.K.C. WONG, "Computer perception of complex patterns", Second. Inter. Joint Conf. on Art. Intel. LONDRES, septembre 1971 .

20 A.N.RADCHENKO, "Pattern recognition by quasi-linguistic translation into artificial noise-resistant language", Second Inter. Joint Conf. on Art. Intel. LONDRES, septembre 1971 .

21 C.M. EASMAN, "Heuristic algorithms for automated space planning ", Second Inter. Joint Conf. on Art Intel., LONDRES, septembre 1971 .

22 J.C. SIMON, A. CHECROUN, "Pattern linguistic analysis invariant for plane transformations", Second Inter. Joint Conf. on Art. Intel., LONDRES, sept. 71 .

23 L. UHR, "Flexible linguistic pattern recognition", Pattern Recognition, Vol 3, n° 4, novembre 1971 .

24 S, WATANABE, "Ungrammatical grammar in pattern recognition", Pattern Recognition, Vol 3, n° 4, novembre 1971 .

25 R.B. BANERJI, "Some linguistic and statistical problems in pattern recognition", Pattern Recognition , Vol 3, n° 4 .

26 O. FIRSCHEIN, M.A. FISCHLER, "Describing and abstracting pictorial structures", Pattern Recognition, Vol 3, n° 4, novembre 1971 .

27 T. PAVLIDIS, "Representation of figures by labeled graphs", Pattern Recognition , Vol 4, n° 1, janvier 1972 .

28 J. MYLOPOULOS, "On the application of formal language and automata theory to pattern recognition", Pattern Recognition, Vol 4, n° 1, janvier 1972 .

29 P.H. SWAIN, K.S. FU, "Stochastic programmed grammars for syntaxtic pattern recognition", Pattern Recognition, Vol 4, n° 1, janvier 1972 .

30 I.B. MUCHNIK, "Simulation of process of forming the language for description and analysis of forms of images", Pattern Recognition, Vol 4,n° 1, janvier 1972 .

31 C.B. SHELMAN, "The application of list processing techniques to pictures processing", Pattern Recognition, Vol 4, n° 2, mai 1972 .

32 A. BORILLO, M. BORILLO, L. BOURRELY, E. CHOURAQUI, W. FERNANDEZ de la VEGA, A. GUENOCHE, A. HESNARD, J. TOGNOTTI, "Premiers éléments d'une expérience de construction d'un système intégré de traitement de l'information textuelle et graphique", Colloque National sur les Banques de Données Archéologiques, MARSEILLE, juin 1972 .

33 H.C. LEE, K.S. FU, "A stochastic syntax analysis procedure and its application to pattern classification", IEEE Trans. Computers, Vol C 21, n° 7, juillet 1972.

34 Y.T. CHIEN, R. RIBAK, "A new data base for syntax-directed pattern analysis and recognition", IEEE Trans. Computers, Vol C 21, n° 7, juillet 1972 .

35 O. FIRSCHEIN, M.A. FISCHLER, "A study in descriptive representation of pictorial data", Pattern Recognition, Vol 4, n° 4, décembre 1972 .

36 M.B. CLOWES, "Scene analysis and picture grammars", Graphic Languages, éd. F. NAKE, A. ROSENFELD,... North -Holland (IFIP 1972) .

37 T. KASVAN, "Some thoughts on picturial language", Graphical languages, éd. F. NAKE, A. ROSENFELD,... North-Holland (IFIP 1972) .

38 J.E. GEORGE, "A graphical meta system", Graphic languages, éd. F. NAKE, A. ROSENFELD,... North-Holland (IFIP 1972) .

39 R. NARASIMHAN, V.S.N. REDDY, "Some experiments in scene generation using COMPAX", Graphic Languages, éd. F. NAKE, A. ROSENFELD,... North-Holland (IFIP 1972) .

40 R.R. WILLIAMS, "A general purpose graphical language". Graphic Language, éd. F. NAKE, A. ROSENFELD,... North-Holland, (IFIP 1972) .

41 R. NARASIMHAN, R.A. KIRSCH, J.L. PFALTZ, A. ROSENFELD, A.C. SHAW, R.B. STANTON, "Panel discussion: Are picture-grammars use in scene analysis", Graphic Languages, éd. F. NAKE, A. ROSENFELD,... North-Holland, (IFIP 72) .

42 R. MOHR, "Modèle algébrique pour l'analyse syntaxique de figures", thèse de mathématiques appliquées soutenue le 23 février 1973 à l'Université de NANCY .

## A - 1 EVOLUTION DE LA PSYCHOLOGIE DE LA PERCEPTION VISUELLE

### A - 1 - 1 GENESE DE LA NOTION DE FORME (De L'ASSOCIATIONNISME A LA GESTALT) et PRINCIPE DE LA SEGREGATION D'UNE FORME SUR UN FOND (PREGNANCE D'UNE FORME) .


1 EHRENFELD, "Uber Gestaltqualitaten", IV f. Wiss. Phil. 1890

2 KÖHLER, "Gestaltpsychology", éd. Liverihght, NY 1929 .

3 K.W. BRALY, "The influence of past experience in visual perception", J. exper. Psychol, T 16, 1933 .

4 K.KOFFKA, "Principles of Gestaltpsychology", éd. Harcourt, NY 1935 .

5 Paul GUILLAUME, "La psychologie de la Forme", bibl. de Philo. Scient., éd. Flammarion, 1937 .

6 K. DUNCKLER, "The influence of past experience upon perceptual properties", Amer. J. Psychol. T 52, 1939 .

7 R.S. WOODWORTH, "Reinforcement of perception", Amer. J. Psychol, T 60, 1947.

8 L. POSTMAN, J.S. BRUNER, "Multiplicity of set as determinant of perceptual behavior", J. exper. Psychol, T 39, 1949 .

9 J.J. GIBSON, " The perception of the visual world", ed. Houghton-Mifflin, 1950 .

10 W. ITTELSON, "The constancies in perceptual theory", Psychol. Rev., T 58, 51.

11 E.W. BOVARD, "Group structure and perception", J. Abnorm. Psychol., T 46, 51 .

12 E.K.HILGARD, "The role of learning in perception", dans "Perception" BLAKE et RAMSEY, éd. Ronald, NY 1951 .

13 M. WERTHEIMER, "HEBB and SENDEN on the role of learning in perception", Amer. J. Psychol, T 64, 1951 .

14 A.S. LUCHIND, "An evaluation of some current criticism of Gestalt Psychology", Psychol. Rev., T 58, 1951 .

15 E.G. BORING, "Visual perception as invariance", Psychol. Rev., T 59, 1952 .

16 W. BEVAN, K. ZENER, "Some influence of past experience upon the perceptual threshold of visual form", Amer. J. Psychol, T 65, 1952 .

17 W.H. SMITH, "Past experience and the perception of visual size", Amer. J. Psychol., T 65, 1952 .

18 L. IMMERGLUCK, "The role of set in perceptual theory", J. Psychol. T 34,52.

19 P.D. BRICKER, A. CHAPANIS, "Do incorrect perceived tachistoscopic stimuli convey some information ?", Psychol. Rev., T 60, 1953 .

20 F.C. FRICK, "Some perceptual problems from the point of view of information theory", dans "Current trends in information theory", PATTON éd. Univ. Pittsburgh Press, 1953 .

21 F. ATTNEAVE, "Some informational aspects of visual perception", Psychol. Rev., T 61, 1954 .

22 J. DREVER, "Early learning and the perception of space", Amer. J. Psychol., T 68, 1955 .

23 F. BRESSON, "Perception : Fréquence des stimuli et motivation, Revue critique", Ann. Psychol. T 55, 1955 .

24 POSTMAN, " The probability approach and nomothetic theory", Psychol. Rev., T 62, 1955 .

25 A. BINDER, "A statistical model for the process of visual recognition", Psychol. Rev., T 62, 1955 .

26 A. OMBREDANE, "Perception et information", dans "Perception", Symposium de LOUVAIN, PUF 1955 .

27 F.H. ALLPORT, "Theories of perception and the concept of structure", éd. Wiley and Sohn, NY 1955 .

28 M. RAPPAPORT, "The role of redundance in the discrimination of visual forms", T 53, 1957 .

29 F. ATTNEAVE, "Transfer of experience with a class-schema to identification-learning of patterns and shape", J. exp. Psychol, T 54, 1957 .

30 R. SOMMER, "The effect of reward and punishment during perceptual organisation", T 25, 1957 .

31 F. BRESSON, "Les relations entre perception et apprentissage ; quelques problèmes théoriques et expérimentaux", Psychol. Franç., n° 3, 1958 .

32 BRUNER, BRESSON, MORF, PIAGET, "Logique et Perception", éd. PUF, 1958 .

33 R .B. JOYNSON, "An experimental synthesis of the associationist and gestalt account of perception of size", Quat. J. exper. Psychol., T IO, 1958 .

34 C.W. SMITH, "Judgment of size and distance in photographs", Amer. J. Psychol., T 71, 1958 .

35 J.F. WOHLWILL, "The definition and analysis of perceptual learning", Psychol. Rev., T 65, 1958 .

36 J.J. GIBSON, "The visual field and the visual world", Psychol. Rev. , 1959 .

37 A.H. RIESEN, L. AARONS, "Visual movement and intensity discrimination in cats after early deprivation of pattern vision", J. comp. physiol. Psychol. T 52, 1959 .

38 E.S. KRENDEL, J. WODINSKY, "Search in an unstructured visual field", J. Opt. Soc. am., Vol 50, 1960 .

39 J.J. GIBSON, "Ecological optics", Vision Research, T 1, 1961 .

40 R. HELD, J. BOSSOM, "Neo-natal deprivation and adult rearrangement : complementary techniques for analysing plastic sensori-motor coordinations", J. com. Physiol. Psychol, T 54, 1961 .

41 D.M. Mc KAY, "Interactive processes in visual perception", dans "Sensory communication", W.A. ROSENBLITH, éd. John Wiley, NY 196 .

42 R. FRANCES, "Le développement perceptif", éd. PUF (Biblio. Sc. Inter.),1962 .

43 R. HELD, A. HEIN, "Movement-produced stimulation in the development of visually guided behavior", J. com. Psychol, T 56, 1963 .

44 J. PIAGET, P. FRAISSE, E. VURPILLOT, R. FRANCES, "La perception", T 6 dans "Traité de Psychologie", éd. PUF 1963 .

45 R. FRANCES, "La perception", éd. PUF, col. Que sais-je?, 1963 .

46 VINH BANG, P. GRECO, J.B. GRIZE, Y. HATWEL, J. PIAGET, G.N. SEAGRIM, E. VURPILLOT, "L'épistémologie de l'espace", éd. PUF (col. études d'épistémologie génétique) 1964 .

47 W. KOELER , "Psychologie de la forme", éd. NRF (col idées)

48 T.G.R. BOWER, "Stimulus variable determining space perception in infants" . Science, T 149, 1965 .

49 C.S. HARRIS, "Perceptual adaptation to inverted, reversed and displaced vision". Psychol. Rev. T 72, 1965 .

50 J.J. GIBSON, "The senses considered as perceptual systems", éd. Houghton Mifflin, 1966.

51 T.G.R. BOWER, "Slant perception and shape constancy in infants", Science, T. 151, 1966 .

52 W.C. HOFFMAN, "The LIE algebra of visual perception", J. Mathem. Psychol., T. 3, 1966 .

53 J.C. HAY, H.L. Jr PICK, "Visual and proprioceptive adaptation to optical displacement of the visual stimulus", J. ex. Psychol, T 71, 1966 .

54 J.W. GYR, J.S. BROWN, R. WILLEY, A. ZIVIAN, "Computer stimulation and psychological theories of perception", Psychol. Bulletin. T 65, 1966 .

55 M.D. VERNON, "The nature of perception and the fundamental stages in the process of perceiving", dans "Pattern Recognition", L. UHR, éd. John Wiley 66.

56 F. ATTNEAVE, M.D. ARNOULT, "The quantitative study of shape and pattern perception", dans Pattern Recognition", L.UHR, éd. John Wiley, 1966 .

57 H.W. HAKE, "Form discrimination and the invariance of form", dans "Pattern Recognition", L. UHR,éd. John Wiley, 1966 .

58 L. WITTGENSTEIN, "Seeing", dans "Pattern Recognition", éd. John Wiley,66.

59 R. FRANCES, "Identification et distinction différentielle, deux mécanismes perceptifs et leurs relations réciproques", Psychologie Française, Vol 12, n° 2. 1967 .

60 R. FRANCES, "Etude comparative de deux conduites perceptives : l'identification de l'espèce et la distinction des différences", Journal de Psychologie, 1967.

61 J.JULESZ, "The suppression of monoculary perceivable symmetry during binocular fusion", Bell System Technical Journal, Vol XLVI, n° 6, juillet-aout 1967 .

62 F. BRESSON, "Modèles structuraux dans l'étude des comportements cognitifs", dans "Les modèles et la formalisation du comportement", éd. du C.N.R.S. 1967 .

63 R. HELD, J.A. Jr BAUER, "Visually guided reaching in infant monkey after restricted rearing", Science, T 155, 1967 .

64 C.R. GLINER, A.D. PICK, H.L. Jr PICK, J.J. HALES, "A development investigation of visual and haptic preferences for shape and texture", Monograhs Soc. Res. Child Develop., T 34, n° 6, 1969 .

65 J.J. GOODNOW, "Eye and Hand : differential sampling of form and orientation properties", Neuropsychol., T 7, 1969 .

66 B.W. WHITE, "Perceptual findings with the vision-substitution system", IEEE Trans. of Man-machine System, T 11, 1970 .

67 B. MEYRERS, "Discrimination of visual movement in perceptually deprived cats", J. comp. physuol. Psychol., T 71, 1970 .

68 R.M. HODGSON, G.A. GELADE, R.L. BEURLE, "Visual detection of noisy patterns", Second. Inter. Joint Conf. on Art Intel., LONDRES, septembre 1971 .

69 F. BRESSON, "Aspects génétiques de la perception", dans "Neurophysiologie de la perception visuelle", H. HECAEN, éd. Masson, 1972 .

70 J.MEHLER, "Le développement des heuristiques perceptives chez le très jeune enfant", dans "Neurophysiologie de la perception visuelle", H. HECAEN, éd. Masson, 1972

71 E. VURPILLOT, "Quelques données sur les structures visuelles du nourrisson", dans "Neurophysiologie de la perception visuelle", H. HACAEN, éd. Masson 72 .

72 H.L. TEUBER, "Perception et mouvement, Aspect neurophysiologiques et psychophysiologiques," dans "Neurophysiologie de la perception visuelle", éd. Masson, 1972 .

A - 2 - ROLE JOUE DANS LA SEGREGATION PAR LA SIGNIFICATION QU'ONT ACQUISES LES FORMES DANS LA REPRESENTATION DES OBJETS . CONTEXTE ET IDENTIFICATION .


1 E. RUBIN, "Visuell wahrgenommen Figüren", 1921 .

2 A. GEMELLI, "Contribution à l'étude de la perception . Recherches expérimentales et vues générales", J. de Psychologie, T. 25, nº 2, 1928 .

3 L, CARMICHAEL, H.P. HOGAN, A.A. WALTER, "An experimental study of the effect of language on the reproduction of visually perceived forms", J. exper. Psychol., T 15, 1932 .

4 L.E. HAHN, "A contextualistix theory of perception", ed. Univ. of California Press, 1942 .

5 A. DALLA VOLTA, "Contributo allo studio percepcione con particular referenza alla psicologia differenziale . 1 / La percezione della forma a significato indifinito", Arch. Psicol. Neurol. Psichiat., T 7, 1946 .

6 J. PALLIARD, "Pensée implicite et perception visuelle", ed. PUF, 1949 .

7 J.S. BRUNER, L. POSTMAN, "Perception, cognition and behavior", J. Personal. T 18, 1949 .

8 H. WALLACH, "Some considerations concerning the relation between perception and cognition", J. Personel. T 18, 1949 .

9 A. KORZYBSKI, "The role of language in the perceptual processus", dans "Perception", BLAKE and RAMSEY, éd. Ronald, NY, 1951 .

10 L. POSTMAN, "The experimental analysis of motivational factors in perception", Symp. de Lincoln, Univ. Nebraska Press, 1953 .

11 J.S. BRUNER, A.L. MINTURN, "Perceptual identification and perceptual organization", J. gener. Psychol., T 53, 1955 .

12 L. POSTMAN, "Perception and verbal behavior", Acta Psychol. T 11, 1955 .

13 F.P. KILPATRICK, "Perception theory and general semantics", T 12, 1955 .

14 J.S. ROBINSON, "The effects of learning verbal labels for stimuli on discrimination", J. exper. Psychol., T 49, 1955 .

15 J.S. BRUNER, A.L. MINTURN, "Perceptual identification and perceptual organization", J. gener. Psychol., n° 53, 1955 .

16 G. SMITH, M. HENRIKSSON, "Studies in the development of a perception within various contexts of perceived reality", Acta Psychol., T 12, 1956 .

17 K,L. BOLLES, D.B. BAILEY, "Importance of object recognition in size constancy", T 51, 1956 .

18 D.T. HERMAN, R.H. LAWLESS, R.W. MARSHALL, "Variables in the effect of language on the reproduction of perceived forms", Percept mot. Skills, T 7, 1957 .

19 C.M. SOLLEY, J.F. SANTOS, "Perceptual learning with partial verbal renforcement", T 8, 1958 .

20 R. FRANCES, "Les modifications perceptives en fonction du sens objectal des contenus", chap. 3 de "Le développement perceptif", éd. PUF, 1962 .

21 E. VURPILLOT, "L'influence de la signification et de la situation expérimentale", chap. 4, parag. C 11, dans "L'organisation perceptive . Son rôle dans l'évolution des illusions opticogéométriques", éd. Vrin, col. de psychologie et de philosophie, 1963 .

22 D.H. KRANTZ, "A theory of context effect based on cross-context matching", J. of Math. Psychol., Vol 5, N I février 1968 .

23 J.M. HOC, "Représentation mentale et modèles cognitifs de traitement de l'information", Le travail humain, Vol 35, PUF, Janv. 1972 .

A - 2 RESULTATS RECENTS ET RECHERCHES EN COURS EN PSYCHOPHYSIOLOGIE DE LA VISION - (Les voies optiques, la vision périphérique et la commande des saccades d'exploration oculaire)


1 F.N. LOW, "Some characteristics of peripheral visual performance", Amer. J. Psychol., T i' - , 1946 .

2 R.H. BRUCE, F.N. LOW, "The effects of pratice with brief exposure techniques upon central and peripheral visual acuity and a search for a brief test of peripheral acuity", J. exper. Psychol., T 41, 1951 .

3 S.W. KUFFLER, "Discharge patterns and functional organisation of mammalion retina", J. Neurophysiol, T 16, 1953 .

4 J.A. DEUTSCH, "A theory of shape recognition", British J. of Psychol, T 46, 1955 .

5 P. FRAISSE, E. VURPILLOT, "Effet de l'orientation de l'attention sur l'étendue du champ d'appréhension", Année psychol., T 56, 1956 .

6 W. HERON, "Perception as a function of retinal locus and attention", Amer. J. Psychol., T 70, 1957 .

7 P. FRAISSE, "Les effets de centration perceptive", Psychol. Fr, T.12, 1957.

8 P.C. DODWELL, "Shape recognition in rats", British J. of Psychol, vol. 48, 1957 .

9 J.S. BRUNER, "Neural mechanism in perception", Psychol. Rev., T 64, 1957.

10 M.J. WELLS, J. WELLS, "The influence of pre-operational trainning on the performance of octopuses following vertical lobe removal", J. ex. Biol., T 35, 1958 .

11 A. FORD, C.T. WHITE, M. LICHTENSTEIN, "Analysis of eye movments during free search", J. Opt. Soc. Am., Vol 49, 1959 .

12 D.H. HUBEL, T.N. WIESEL, "Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex", J. of Physiol., T 148, 1959 .

13 J.Y. LETTVIN, H.R. MATURANA, W.S. Mc. CULLOCH, W.H. PITTS, "What the frog's eye tells the frog's brain", Proc. Inst. Radio. Engr., T 47, 1959 .

14 A.H. RIESEN, L.AARONS, "Visual movement and intensity discrimination in cats after early desprivation of pattern vision", J. comp. physiol. Psychol., T. 52, 1959 .

15 J.A. DEUTSCH, "The plexiform zone shape recognition on the octopus", Nature, Vol 185, 1960 .

16 N.S. SHUTERLAND, "Theories of shape discrimination in octopus", Nature, Vol 186, 1960 .

17 D.H. HUBEL, T.N. WIESEL, "Receptive fields of optics nerve fibres in the spider monkey", J. of Physiol, T 154, 1960 .

18 J.Z. YOUNG, "Learning and discrimination in the octopus", Biol. Rev., T. 36, 1961 .

19 D.H. HUBEL, T.N. WIESEL, "Integrative action in the cat's lateral geniculate", J. of Physiol. T 155, 1961 .

20 D.H. HUBEL, T.N. WIESEL, "Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex", J. of Physiol.T 160, 1962.

21 D.H. HUBEL, T.N. WIESEL, H.R. MATURANA, "Receptive fields of cell in striate cortex", J. of Neurophysiol. T 160, 1962 .

22 H.R. MATURANA, "Functial organisation of the pigeon retina", Proc. Inter. Union Physiol. Sci., T 3, 1962 .

23 P.J. DALLOS, R.W. JONES, "Learning behavior of the eye fixation control system", IEEE Trans. AC 8, n° 3, juillet 1963 .

24 D.H. HUBEL, T.N. WIESEL, "Receptive fields of cells in striate cortex of very young visually inexperienced kittens", J. of Neurophysiol. T 26, 1963 .

25 D.H. HUBEL, T.N. WIESEL, "Shape and arrangement of columns in cat's cortex", J. of Physiol, T 165, 1963 .

26 B.D. BURNS, "Contrast discrimination by neurones in the cat's visual cerebral cortex", J. of physiol, T 175, 1964

27 B.B. BOYCOTT, "Learning in octopus", Scientific American, mars 1965.

28 D.H. HUBEL, T.N. WIESEL, "Receptive field and functional architecture in two nonstriate visual areas (18 and 19) of the cat", J. of Neurophysiol., T 28, 1965 .

29 D.H. HUBEL, T.N. WIESEL, "Binocular interaction in striate cortex of kittens reared with artificial squint", J. of Neurophysiol., T 28, 1965 .

30 C. ENROTH-CUGELL, J.G. ROBSON, "The contrast sensibility of retinal ganglion cells", J. of Physiol. T 187, 1966 .

31 R.A. WEISS, "Be-vision", JACM, Vol 13 nº 2, 1966 .

32 K.R. GAARDER, "Transmission of edge information in the human visual system", Nature, Vol 212, nº 5 059, octobre 1966 .

33 G. COOK, L. STARK, "Dynamic behavior of the human eye-positioning mechanism", Com. in behavioral Biol., part A, Vol 1, nº 3, éd. Academic Press, mars 1968 .

34 M.J. STEINBACH, R. HELD, "Eye tracking of observer-generated target movements", Science, Vol 161, nº 3 837, juillet 1968 .

35 SCHROEDER, HOLLAND, "Operand control of eye movements during human vigilance", Science, Vol 161, nº 3 838, juillet 1968 .

36 ZAVALISHIN, "Hypothesis concerning the distribution of eye fixation points during the examination of pictures", Automation and remote control, nº 12, décembre 1968 .

37 D. DENNEY, G. BAUMGARTNER, C. ADORJANI, "Response of cortical neurons to stimulation of the visual afferent radiation", Exp. Brain Research, T 6, 1968 .

38 U. BUTTNER, O.J. GRUSSER, "Quantitative Untersuchungen der raumlichen Erregungssummation im rezeptiven feld retinealer neurone der Katze", Kybernetik, 4 Heft 3, 1968 .

39 D.H. HUBEL, T.N. WIESEL, "Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex", J. of Physiol, T 195, 1968 .

40 D.H. HUBEL, T.N. WIESEL, "Visual area of the lateral suprasylvian gyrus of the cat", J. of Physiol., T 202, 1969 .

41 F.W. CAMPBELL, "Spatial selectivity of the visual cells of the cat", J. of Physiol., T 203, nº 1, 1969 .

42 G. VOSSIUS, J. WERNER, "The functional control of the eye-tracking-system and its digital simulation", IFAC VARSOVIE, juin 1969

43 B.L. ZUBER, "Oculomotor plant dynamic : electromyographic and transient responses in the cat", IFAC VARSOVIE, juin 1969 .

44 A.V. CHURCHILL, "Effect of head movment in visual kinesthesic localization", Percept Motor Skille, T 28, nº 3, USA 1969 .

45 A. LEVY-SCHOEN, "L'étude des mouvements oculaires", éd. Dunod, col. Sciences du comportement, 1969 .

46 S. SUETSUGU, N. KITAJIMA, "On the interactivity in the human visual cortex caused by specific and nonspecific", Kibernetik, juin 1970 .

47 K. FUKUSHIMA, "A feature extractor for curvilinear patterns : a design suggested by mammalian visual system", Kybernetik, band 7, heft 4, septembre 1970 .

48 W. von SEELEN, "Zur Informationverarbeitung im visuellen System der Wirbeltiere", Kybernetik, band 7, heft 2, 3, juin juillet 1970 .

50 P.C. DODWELL, "Visual pattern recognition", éd. Rinehart, 1970 .

51 L. ZUSNE, "Visual perception of form", Academic Press, 1970 .

52 PALMIERI, OLIVA, SCOTTO, "Spot-follower devices for eye movement", Kybernetiks, n° 1, janvier 1971 .

53 LEIBOVIC, BALSLEV, MATHIESON, "Binocular vision and pattern recognition", Kybernetics, n ° 1, janvier 1971 .

54 FOSTER, "A model of the human visual system in its response to certain class of moving stimuli", Kybernetics, n° 2, février 1971 .

55 BALY, CEVETTO, FIORENTINI, MAFFEI, "On and off retinal cells in parallel neural communications", Kybernetics, n° 2, février 1971 .

56 GRIND, KOENDERINK, HEYDE, LANDMAN, BOUMAN, "Adapting coïncidence scalers and neural modelling studies of vision", Kybernetics, n° 3, mars 1971 .

57 PICKERING, VARJU, "The retinal on-off components giving rise to the delayed response", Kybernetics, n° 4, avril 1971 .

58 KOENDERINK, GRIND, BOUMAN, "Fovea information processing at photopic luminescences", Kybernetics, n° 4, avril 1971 .

59 KORN, SCHEICH, "Ubertragungseigenshaften der Katzenretina", Kybernetics, n° 5, mai 1971 .

60 Y. LEGRAND, "Optique physiologique", éd. Masson, 1964, 1958, 1972 .

61 A. HEIN, "L'acquisition de la coordination perceptivo-motrice et sa réacquisition après lésion du cortex visuel", dans "Neurophysiologie de la perception visuelle", H. HACAEN, éd. Masson, 1972 .

62 S.D. IVERSEN, "Le rôle du cortex temporal dans les fonctions visuelles du singe", dans : idem .

63 N.K. HUMPHREY, "Ce que l'œil de la grenouille dit au cerveau du singe", dans : idem .

64 P. BUSER et col., "Mecanismes neurophysiologiques de la coodination visuo-motrice", dans : idem .

65 J.E. GRUNER, "Anatomie des voies optiques", dans : idem .

66 M. JEANNEROD, "Espace et regard", dans : idem .

67 A. LEVY-SCHOEN, "Rapport entre mouvement des yeux et perception . Quelques données sur le comportement oculomoteur de l'adulte normal", dans : idem .

68 J. BANCAUD, "Potentiels évoqués chez l'homme et neuropsychologie", dans : idem .

69 H. HECAEN, "Les agnosies spatiales", dans, idem .

70 L.A. VIGNOLO, "Les deux niveaux de l'agnosie", dans : idem .

71 J.T. ILWAIN, "Central vision : visual cortex and superior colliculus", Annual Rev. of Physiol., vol 34, 1972

72 F. CHAIN, N. LESEVRE, M. LEBLANC, A. REMOND, F. LHERMITTE, "L'étude topographique des réponses évoquées visuelles dans un cas de lobectomie occipitale", Rev. de Neurol. (PARIS), T 126, n° 5, 1972 .

73 F. CHAIN, F. CHEDRU, M. LEBLANC, F. LHERMITTE, "Renseignements fournis par l'enregistrement du regard dans les pseudohémianopsies d'origine frontale chez l'homme", Rev. EEG Neurophysiol., T 2, 3, 1972 .

74 F. CHEDRU, M. LEBLANC, F. LHERMITTE, "Visual searching in normal and brain-damadged subjects. (Contribution to the study of unilateral inattention), Cortex, Vol 9, 1973 .

75 N. LESEVRE, A. REMOND, J.P. JOSEPH, R. RENAULT, F. FINDJI, "Possibilités et limites de la méthode des potentiels évoqués (PE) et de leur traitement informatique pour aborder l'étude de la perception visuelle chez l'homme", Sym. sur la perception visuelle et les systèmes Homme-machine", LILLE mai 1973

76 A. LEVY-SCHOEN, C. RENARD, "Une expérience sur petit ordinateur concernant la perception visuelle et l'activité occulomotrice", idem

77 F. MOLNAR,"Comparaison des mouvements occulaires simulés par ordinateur et observés devant quelques stimuli simples", idem .

78 P. DUBOIS, "Stimulation (lumineuse) localisée de la rétine", idem

79 D. MASSE, "Méthode d'enregistrement des mouvements occulaires", idem

80 G. GRILLON, "Le repérage en temps réel de la direction du regard d'un observateur; l'occulodirectométrie", idem .

81 N. MALVACHE, F. DUPAS, "Etude paramétrique de la fonction visuelle en vision latérale chez l'homme effectuant 2 tâches manuelles de travail", idem.

82 N. MALVACHE, J.M. TOULOTTE, "Modélisation et critère de hiérarchie des fonctions d'un opérateur humain effectuant une tâche de poursuite manuelle et une tâche de détection de stimulus périphérique", idem .

83 M. JEANNEROD, "Les deux mécanismes de la vision", La recherche, nº 41, janvier 1974 .

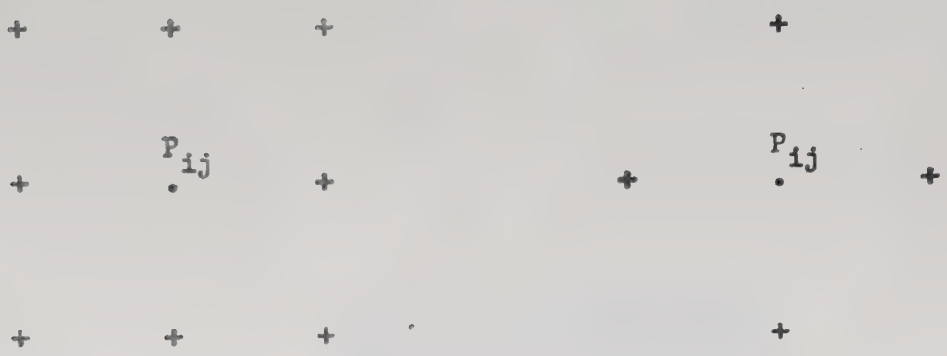
84 F. LHERMITTE, F. CHEDRU, F. CHAIN, "A propos d'un cas d'agnosie visuelle", "La revue de Neurologie", 1974 .

## LISTE DES PROGRAMMES MIS AU POINT POUR CETTE RECHERCHE

| Nom de prog. | Essai | Machine | Nbr d'ordres | Temps approx. de trait. pour une image | Trame de l'image traitée |
|---|---|---|---|---|---|
| ZOOM | A - B | 3600 CDC | 340 | Im 15s | 30 ×30 numérisation visuelle |
| ALTERN | C | 3600 CDC | 110 | 6m | bandes de 72 pts de haut (capteur version 1) |
| COMPOSE | C | 3600 CDC | 1060 | 7m 40s | selon résultats de ALTERN |
| ADRECASE | D - E | 3600 CDC | 80 | Im 20s | (240 × 360 (capteur version 2) sélectionne cases de 24 × 36 |
| BORDTEXT | D | 3600 CDC | 100 | Im 10s | 24 × 36 |
| CVTEXTUR | D | 3600 CDC | 100 | Im 10s | 24 × 36 |
| ZONETEXT / D | D | 3600 CDC | 100 | 45s | 24 × 36 |
| ZONETEXT / E | E | 3600 CDC | 420 | contours : 20s<br>texture : 26s | 24 × 36 |
| BORDTX | F - G | 370 IBM | 650 | 7s | sélection d'une case 24 × 36 |
| BORDTY | F - G | 370 IBM | 600 | 10s | 240 × 360 |
| HUBEL | H | 370 IBM | 450 | 5m | 240 × 360 + sélection d'une case haute définition 24 × 36 |
| PERCEPT | Id. él. géom. | 3600 CDC | 1180 | 3m 15s | tracé simulé sur cartes binaires 35 × 80 |
| SYNTAX | Id. él. archi. | 3600 CDC | 2240 | 7m 30s | (résultats de PERCEPT) |
| GEOMDR | Id. él. géom. | 370 IBM | 2600 | 22s | tracé sur 2250 inscrit sur trame 240 × 360 |
| CONTEX | Id. él. archi. | 370 IBM | 3800 | + chargement sur disques | (résultats de GEOMDR) |

Ces programmes sont rédigés en FORTRAN (les sous-programmes 2250 de GEOMDR et de CONTEX sont rédigés en G S P ; un sous-programme de traitement de caractères en assembleur pour l'interpréteur de CONTEX a été rendu nécessaire par la traduction de SYNTAX pour le 370 IBM, car PL1 ne peut être appelé par un programme FORTRAN).

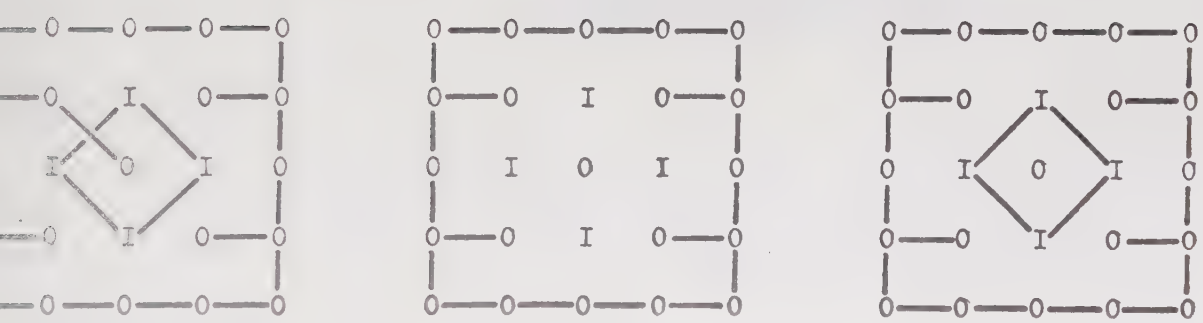
FIGURE 1 :"Voisinage" du point $P_{ij}$ de la trame , sur lequel sont définis les 6 opérateurs introduits au paragraphe I-I-3 ( l'opérateur GRADIENT est calculé sur un "voisinage" lin au carré formé par les points "4" ) .




mètrique $d_1$ mètrique $d_2$

FIGURE 2 : Lieu des points de la trame situés à la distance d = 1 du point $P_{ij}$ .

$d_1 (P_{ij}, P_{i'j'}) = \text{Max} (|i'-i|, |j'-j|)$ $d_2 (P_{ij}, P_{i'j'}) = |i' - i| + |j' -$



trique $d_1$ pour $\theta$ et
ur $\bar{\theta}$.

mètrique $d_2$ pour $\theta$ et
pour $\bar{\theta}$.

mètrique $d_1$ pour $\theta$
mètrique $d_2$ pour $\bar{\theta}$

composante connexe
ur $\theta$.

4 composantes connexes
pour $\theta$.

1 composante connexe
pour le "contour" $\theta$.

composante connexe
r $\bar{\theta}$.

2 composantes connexes
pour $\bar{\theta}$.

2 composantes connexes
pour $\bar{\theta}$ : l'"intérieur"
et l'extérieur .

URE 3 : Pour conserver les notions d'"intérieur" et d'"extérieur" vis à vis d'un contour fermé
distance $d_1$ doit être utilisée pour le sous-espace $\theta$ ( points où l'indicatrice est égale à I )
La distance $d_2$ pour le sous-espace complémentaire $\bar{\theta}$ ( points où l'indicatrice est égale à 0 )

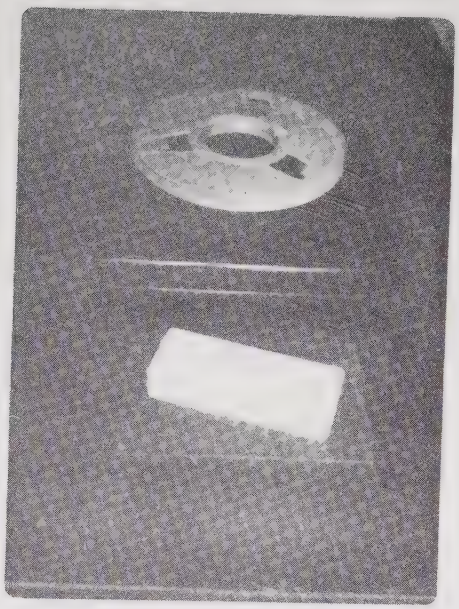
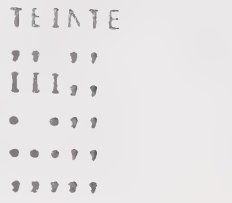
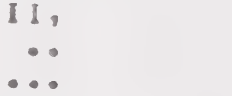


FIGURE 4 : Photographie traitée au cours de l'essai A .
La numérisation a été effectuée visuellement , à travers une grille de papier millimètré .

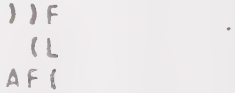
TEINTE



VALEUR GRADIENT

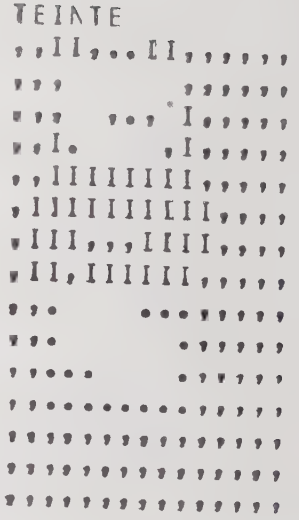


DIRECTION GRADIENT

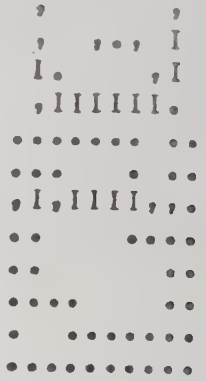


4 DISCONTINUITES AU MINIMUM
2 DISCONTINUITES OBTENUES

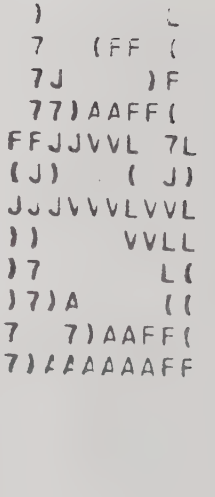
TEINTE



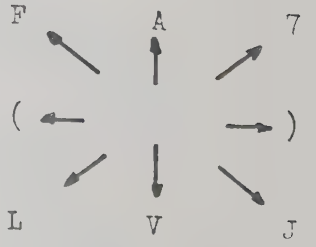
VALEUR GRADIENT



DIRECTION GRADIENT



codage des directions




4 DISCONTINUITES AU MINIMUM
14 DISCONTINUITES OBTENUES

FIGURE 5 : Localisation globale par [illegible]

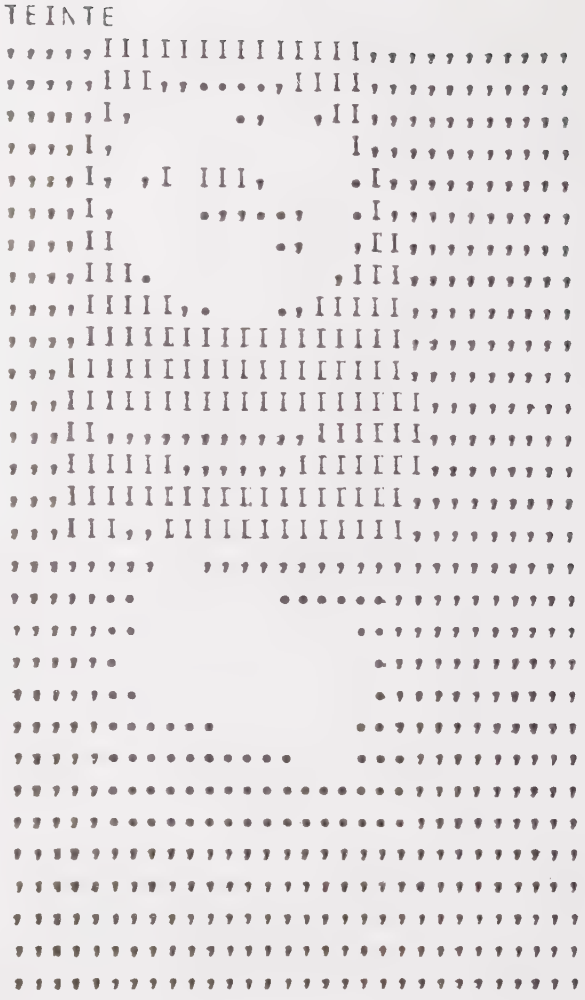
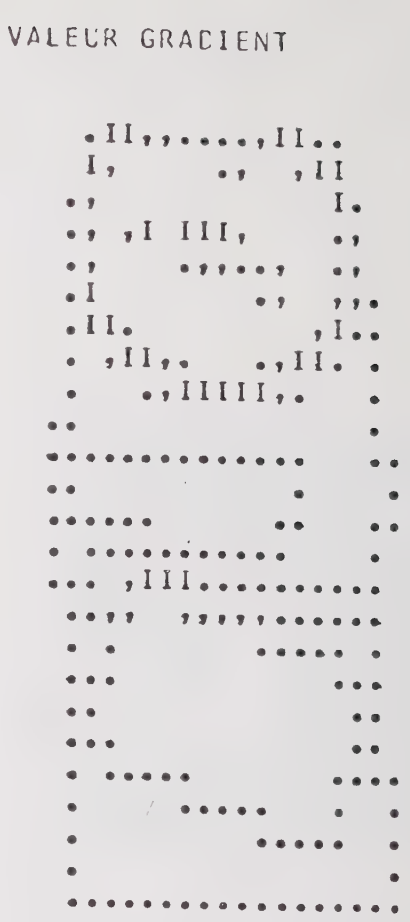



FIGURE 6 : Représentation discrète de la photographie de la figure 4 (essai A) . Les niveaux de gris ont été définis par observation visuelle à travers une grille de papier millimètré ( 4 échelons ) .



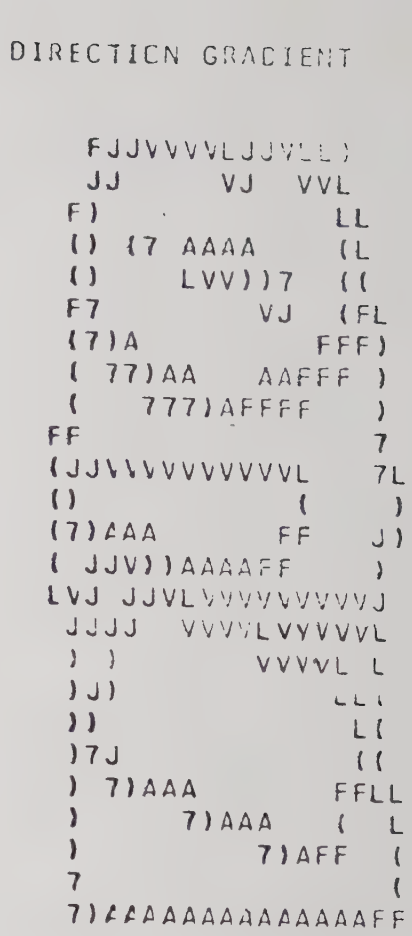
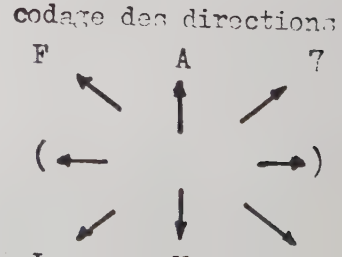




FIGURE 7 : Amplitude et direction du GRADIENT calculé à partir de la représentation discrète de la figure 6 (essai A) .



DISCONTINUITE 2 X = 6 Y = 8

DISCONTINUITE 3 X =2C Y = 8

DISCONTINUITE 4 X = 8 Y =1C

DISCONTINUITE 5 X =1C Y =1C

DISCONTINUITE 6 X =12 Y =1C

DISCONTINUITE 7 X =14 Y =1C

DISCONTINUITE 8 X =16 Y =1C

DISCONTINUITE 9 X =18 Y =1C

OBJET NUMERO 1

TEINTE

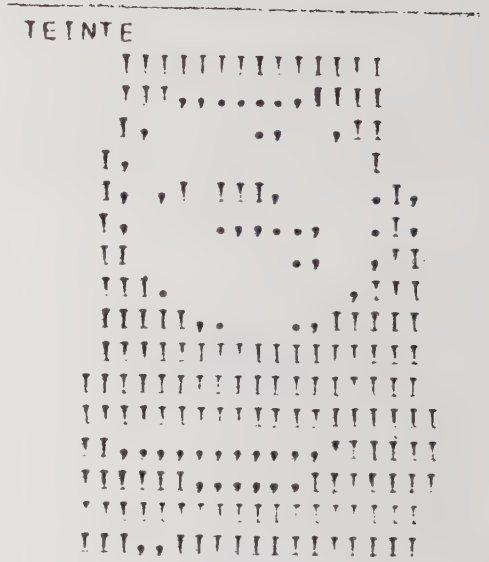
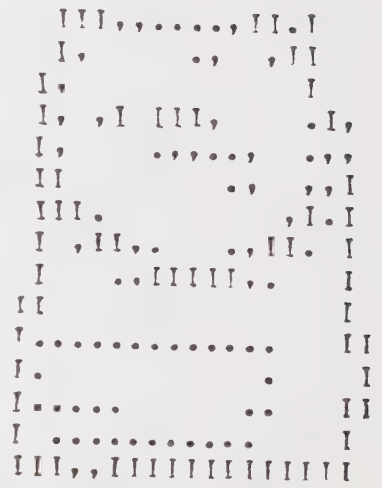
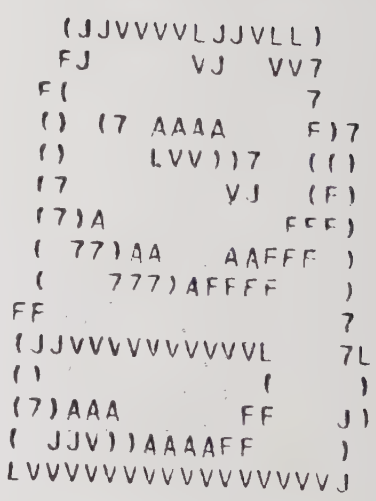


FIGURE 8 : Objet isolé à partir d'un groupement "connexe" , selon la définition étendue aux représentations discrètes , des discontinuités obtenues à la fin du processus décrit à la figure 5 . (essai A)

VALEUR GRADIENT



DIRECTION GRADIENT



codage des directions

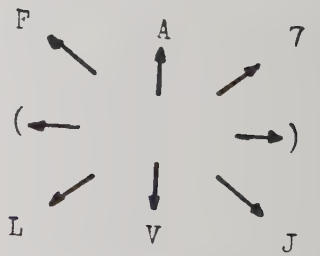
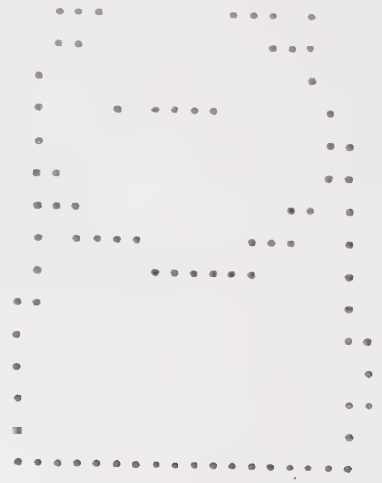



FIGURE 9 : Amplitude et direction du GRADIENT calculé à partir de la représentation discrète de l'objet isolé tel qu'il se présente à la figure 8 (essai A).

DETAIL 1 VOISINAGE29 MARGE GRADIENT PERPENDICULAIREMENT 1



DETAIL 1 VOISINAGE29 MARGE GRADIENT PERPENDICULAIREMENT 2

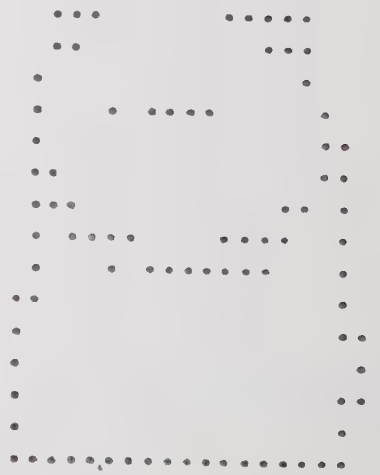
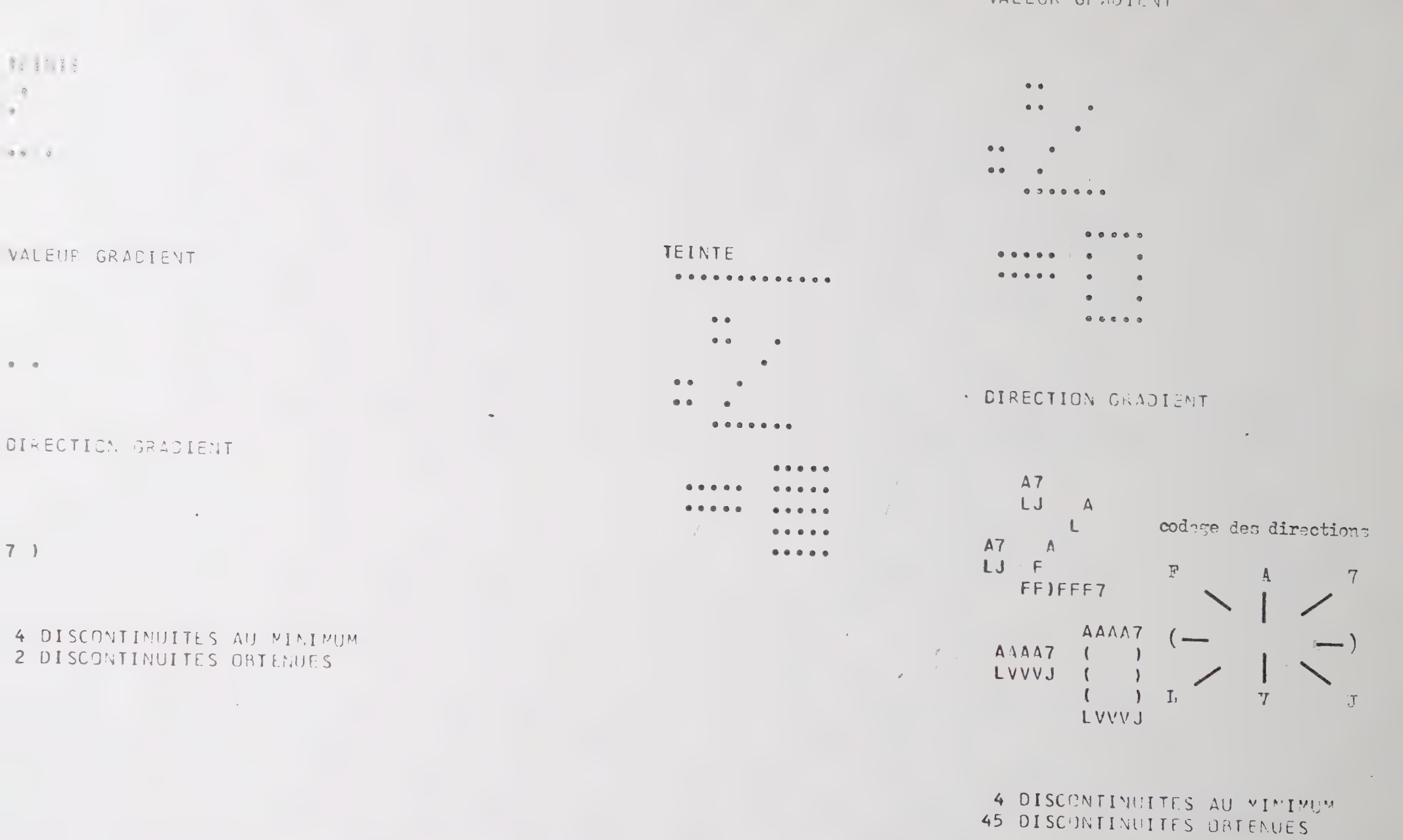
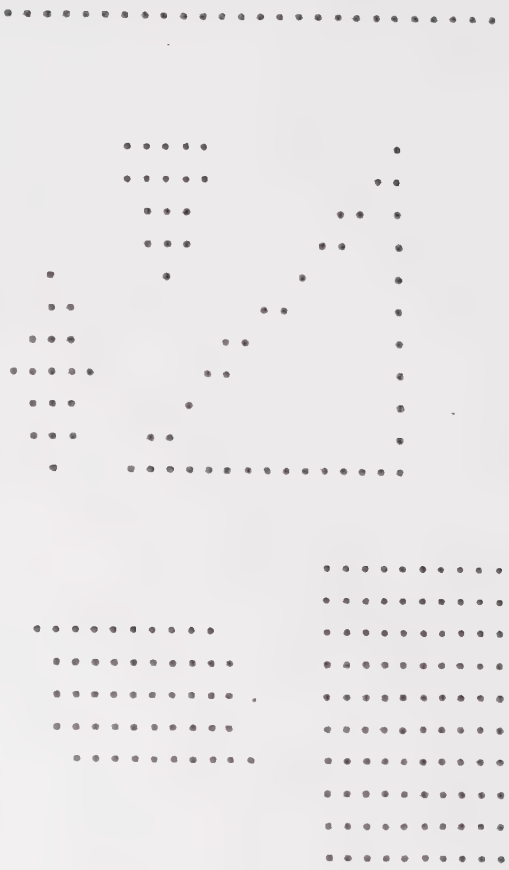


FIGURE IO : Les contours sont initialement définis par les points dont l'amplitude de GRADIENT est supérieure à un certain seuil $S_1$ choisi égal à 2 . Ils sont ensuite complètés par les voisins , d'amplitude de GRADIENT supérieure à un seuil $S_2$ , inférieur à $S_1$ ,... et situés perpendiculairement aux GRADIENTS . en ces points initialement retenus .
Les contours présentés ici sont obtenus par ce procèdé avec des marges $S_1 - S_2$ choisies égales à 1 et à 2 .
(essai A)

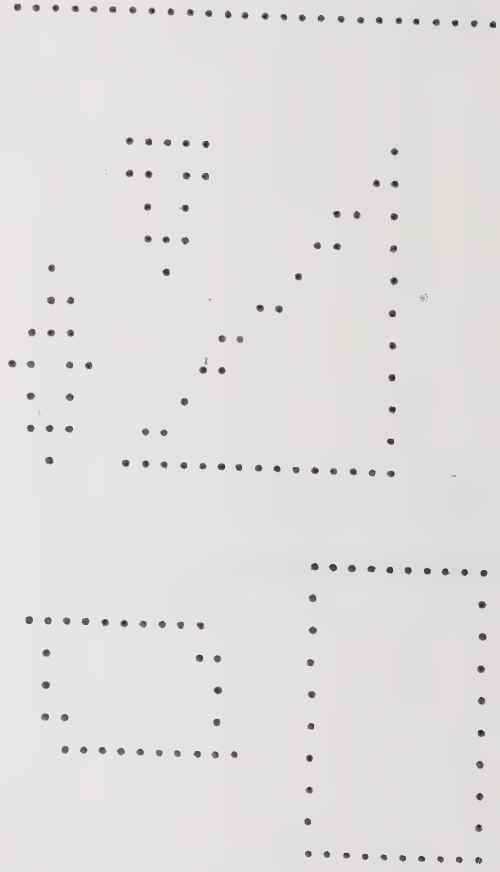



URE 11 : Localisation de tracés par la recherche des discontinuités à définition réduite .
ssai B)

TEINTE



VALEUR GRADIENT



DIRECTION GRADIENT

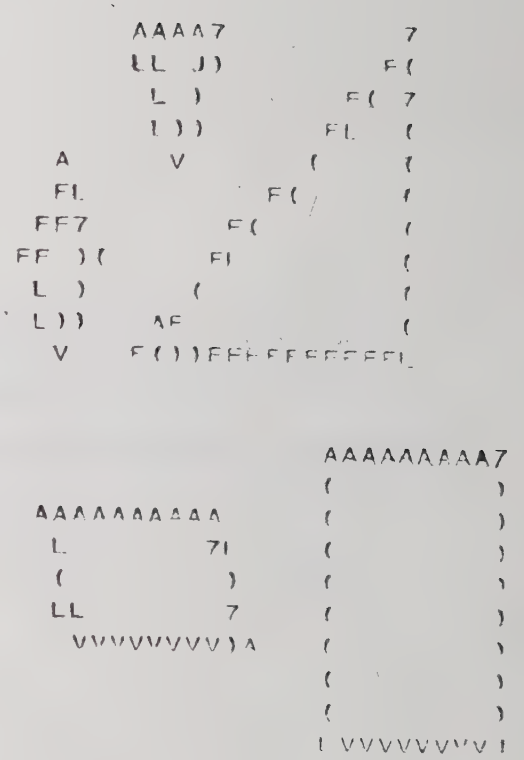


FIGURE 12 : Représentation binaire discrète de tracés et de surfaces (essai B) .

FIGURE 13 : Amplitude et direction du GRADIENT calculé à partir de la représentation discrète de la figure 12 (essai B) .

DISCONTINUITE 1 X =10 Y = 6

DISCONTINUITE 2 X =12 Y = 6

DISCONTINUITE 3 X =10 Y = 8

DISCONTINUITE 4 X =12 Y = 8

OBJET NUMERO 1

TEINTE

FIGURE 14 : Première figure isolée à partir d'un groupement "connexe", selon la définition étendue aux représentations discrètes, des discontinuités obtenues à la fin du processus décrit à la figure 11. (essai B)

DISCONTINUITE 5 X =20 Y = 8

DISCONTINUITE 6 X =18 Y =10

OBJET NUMERO 2

TEINTE

FIGURE 15 : Deuxième figure isolée à partir d'un groupement "connexe" , selon la définition étendue aux représentations discrètes , des discontinuités obtenues à la fin du processus décrit à la figure 11 . (essai B)

DISCONTINUITE 8 X = 6 Y =12

DISCONTINUITE 10 X = 4 Y =14

DISCONTINUITE 11 X = 6 Y =14

OBJET NUMERO 3

TEINTE

FIGURE I6 : Troisième figure isolée à partir d'un groupement "connexe", selon la définition étendue aux représentations discrètes, des discontinuités obtenues à la fin du processus décrit à la figure 11. (essai B)

DISCONTINUITE 9 X =14 Y =12

DISCONTINUITE 12 X =17 Y =14

DISCONTINUITE 13 X =18 Y =16

DISCONTINUITE 14 X =17 Y =16

DISCONTINUITE 15 X =14 Y =16

DISCONTINUITE 16 X =16 Y =16

DISCONTINUITE 17 X =18 Y =16

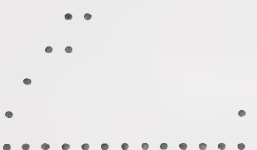
DISCONTINUITE 18 X =20 Y =16

DISCONTINUITE 19 X =22 Y =16

OBJET NUMERO 4

TEINTE

FIGURE 17 : Quatrième figure isolée à partir d'un groupement "connexe", selon la définition étendue aux représentations discrètes, des discontinuités obtenues à la fin du processus décrit à la figure 11.
(essai B)



ISCONTINUITE 20 X =20 Y =20

ISCONTINUITE 21 X =22 Y =20

ISCONTINUITE 22 X =24 Y =20

ISCONTINUITE 23 X =26 Y =20

ISCONTINUITE 24 X =28 Y =20

ISCONTINUITE 30 X =20 Y =22

SCONTINUITE 31 X =28 Y =22

SCONTINUITE 37 X =20 Y =24

SCONTINUITE 38 X =28 Y =24

SCONTINUITE 39 X =20 Y =26

SCONTINUITE 40 X =28 Y =26

DISCONTINUITE 41 X =20 Y =28

DISCONTINUITE 42 X =22 Y =28

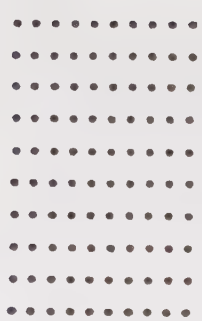
DISCONTINUITE 43 X =24 Y =28

DISCONTINUITE 44 X =26 Y =28

DISCONTINUITE 45 X =28 Y =28

OBJET NUMERO 5

TEINTE



RE I8 : Cinquième figure isolée à partir d'un groupement "connexe" ,
n la définition étendue aux représentations discrètes , des dis-
inuités obtenues à la fin du processus décrit à la figure 11 .
ai B)

DISCONTINUITE 26 X = 8 Y =22

DISCONTINUITE 27 X =10 Y =22

DISCONTINUITE 28 X =12 Y =22

DISCONTINUITE 29 X =14 Y =22

DISCONTINUITE 32 X = 6 Y =24

DISCONTINUITE 33 X = 8 Y =24

DISCONTINUITE 34 X =10 Y =24

DISCONTINUITE 35 X =12 Y =24

DISCONTINUITE 36 X =14 Y =24

OBJET NUMERO 6

TEINTE

FIGURE I9 : Sixième figure isolée à partir d'un groupement "connexe" , selon la définition étendue aux représentations discrètes , des discontinuités obtenues à la fin de processus décrit à la figure 11 . (essai B)

RACCORDEMENT VERTICAL
CHEVAUCHEMENT VERTICAL 7 LIGNES , CASE 1 BANDE 1

3 ANTICOINCIDENCES

frontière entre fragments

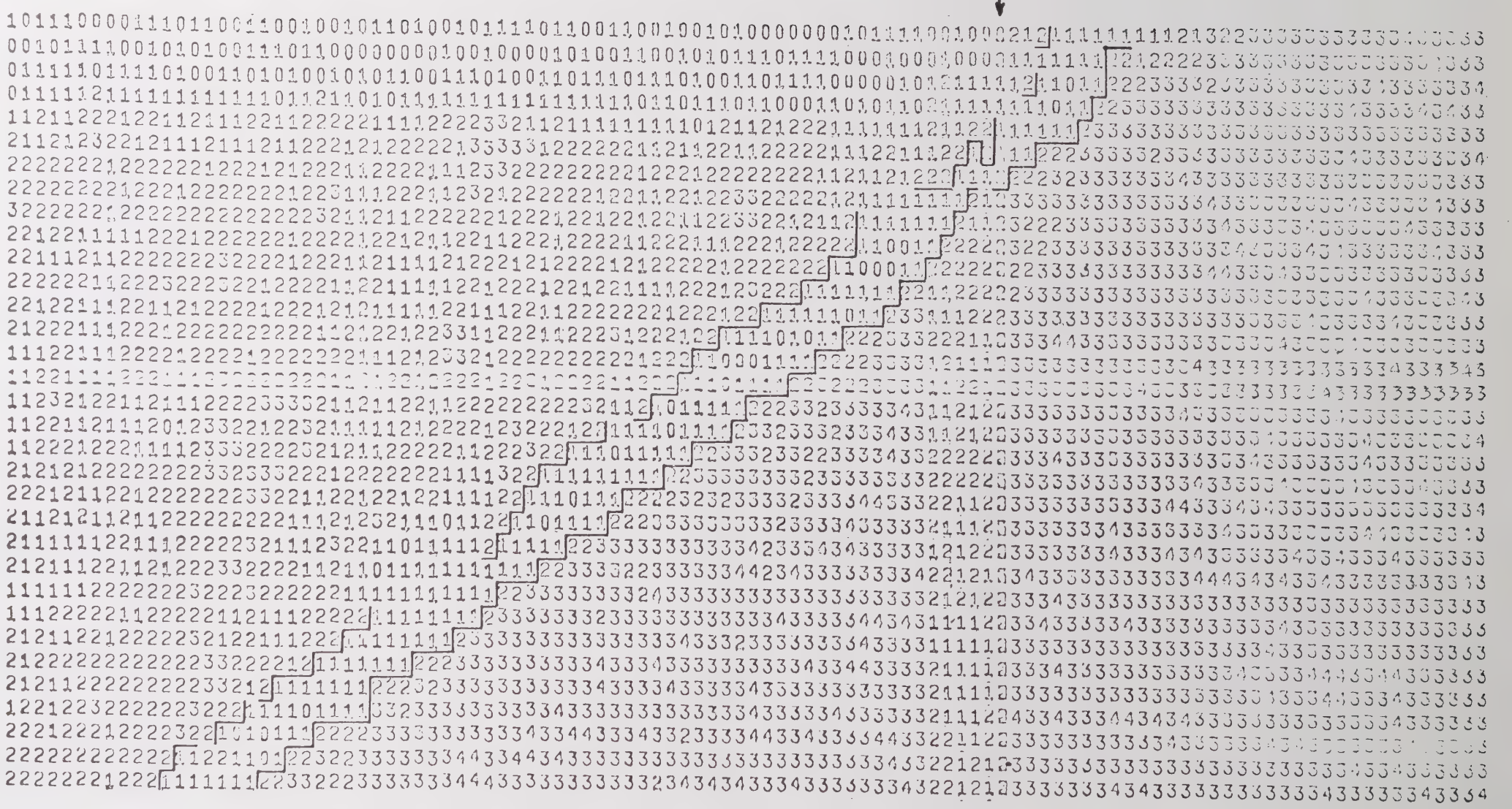
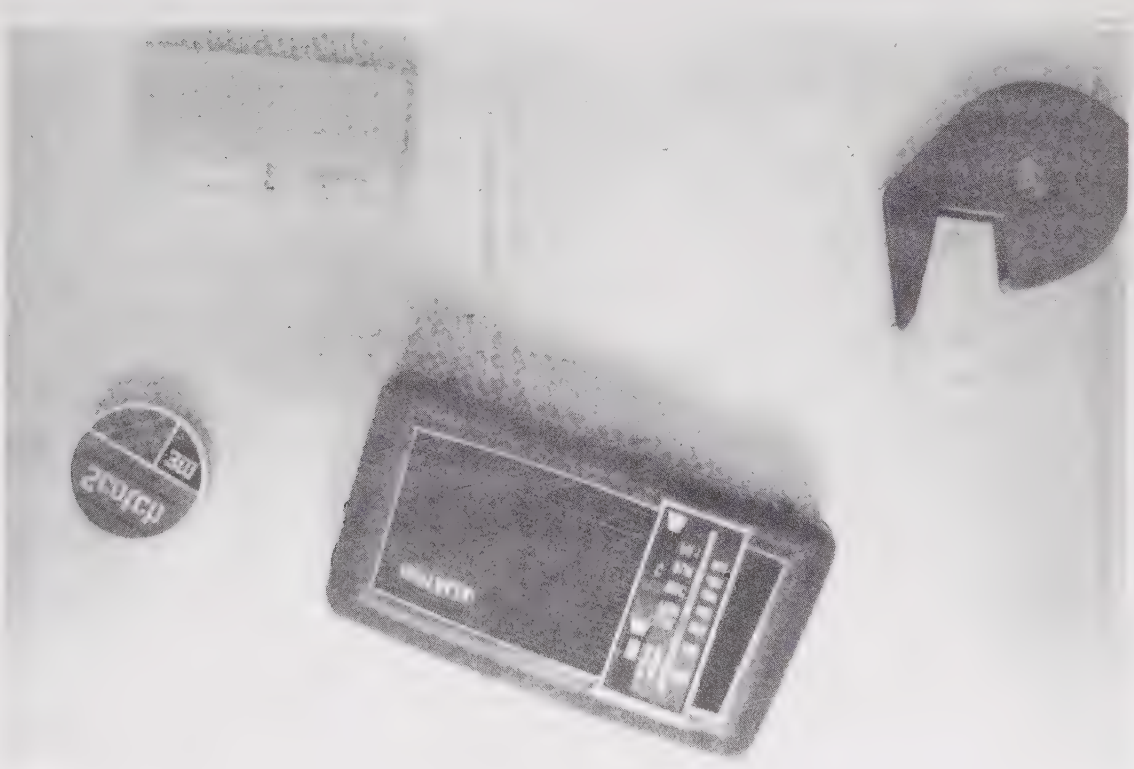


FIGURE 20 : Raccordement de deux fragments de la représentation discrète numérique d'une image .
Le résultat obtenu peut être apprécié en observant la continuité , au niveau de la frontière ,
de la bande oblique de 0 et de 1 qui correspond sur l'image au bord d'un toit ( bande délimitée

FIGURE 2I : Photographie traitée au cours de l'essai C .
La numérisation a été effectuée à l'aide du capteur multi-niveaux " Ière version " du R.A.M.I. .



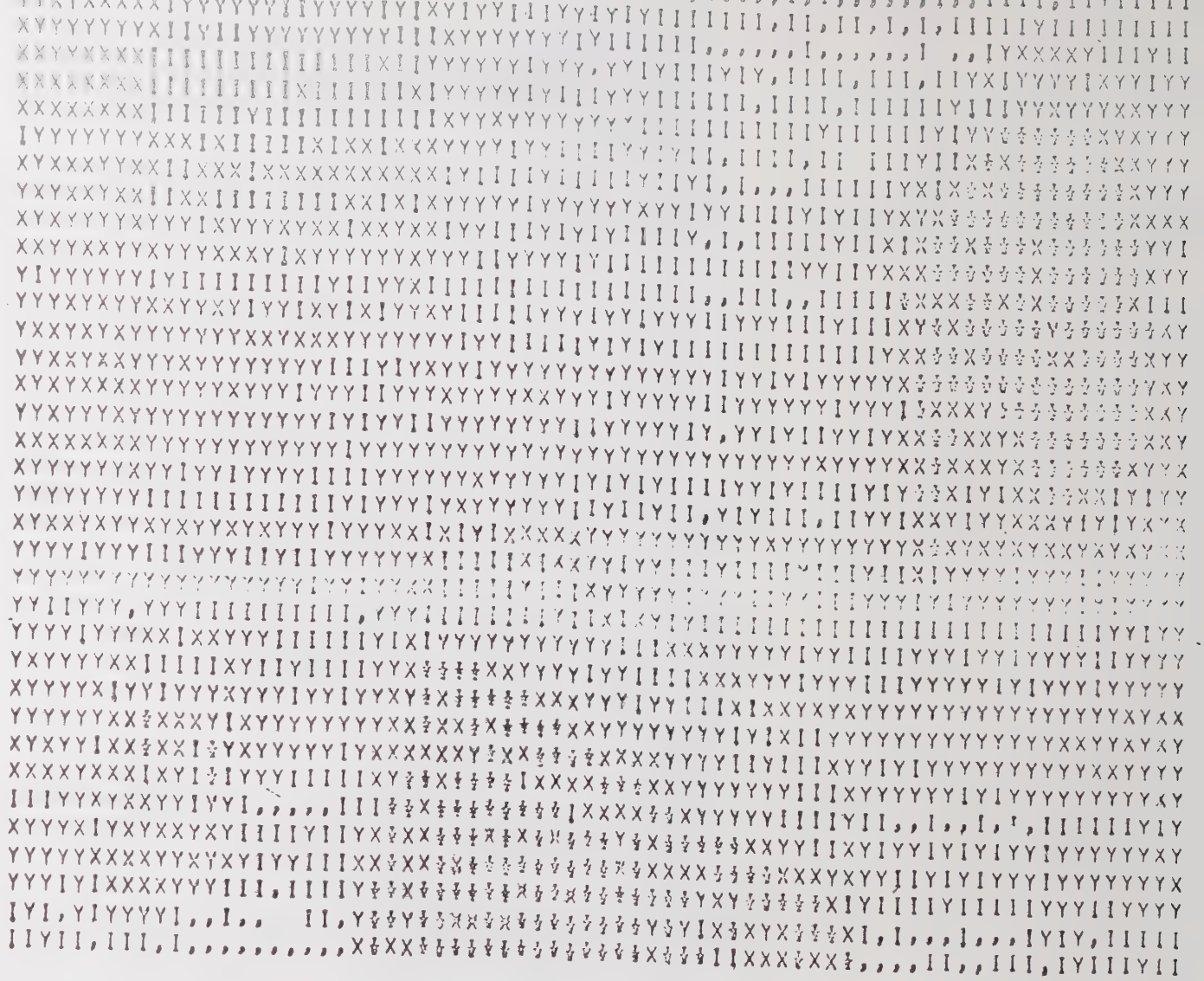


FIGURE 22 : Représentation discrète du haut de la photographie de la figure 2I (essai C) . Les niveaux de gris ont été définis sur une échelle à IO échelons , par le capteur multiniveaux " Ière version " du R.A.M.I. ; la zône correspondante de l'image a été explorée en 3 bandes de 72 lignes raccordées ultérieurement par programmation , mais la définition a été volontairement réduite pour l'impression.

```
 CONNECTIVITE DES CASES
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0

0 1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1

1 1 1 1 1 0 1 1 0 0 0 0

 COMPOSANTE NO  1 , LIGNES  1 A  2 , COLONNES 10 A 12

 COMPOSANTE NO  2 , LIGNES  2 A  3 , COLONNES  1 A  5

 COMPOSANTE NO  3 , LIGNES  3 A  3 , COLONNES  7 A  8
```

FIGURE 23 : Matrice de connexion des cases indiquant les zônes de l'image où se trouvent des objets .

TEINTE

```
IY$$$$XYY
YY$$$$XYI
,IYYYXXII
```

VALEUR GRADIENT

5652

DIRECTION GRADIENT

LLLV

URE 24 : Localisation précise de l'objet correspondant
a composante Nº 1 de la figure 23 (essai C) .

TEINTE

```
IIIXYXXXYXXYYYYYYI
IIYIY$$$X$$$XXYYYY
IIXY$$$$$$$$$$XYYIY
IX$$$$$X$$$$$$XYYI
YYI$$$$X$$$$$$$XYII
IYIY$$$$X$$$IXXYYI
I,IYIY$XX$XXXXIYII
I,IYYIY$X$$$$$XXIYI
,,IIIYIY$YXX$XXIYI
```

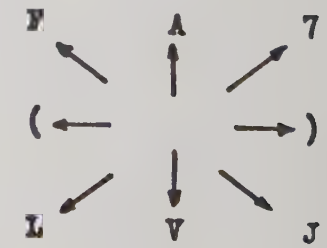
VALEUR GRADIENT

```
 133545455511 11
 233211111444 1
2342 1 1 1 15411
1232 1 11134441
2445321 11412211
 112331 1 3 2 1
 111333122445531
```

DIRECTION GRADIENT

```
 FFAFA7AF78A7 J8
 1FFFJ88FL787 8
FFFF 8 8 1 77L88
FL1L 7 F8FJJJ88
VLLLLL8 8JJJJV81
 LLLLLL F 8 8 8
 1LVLLL8VL787AFL
```

codage des direction




4 DISCONTINUITES AU MINIMUM
39 DISCONTINUITES OBTENUES

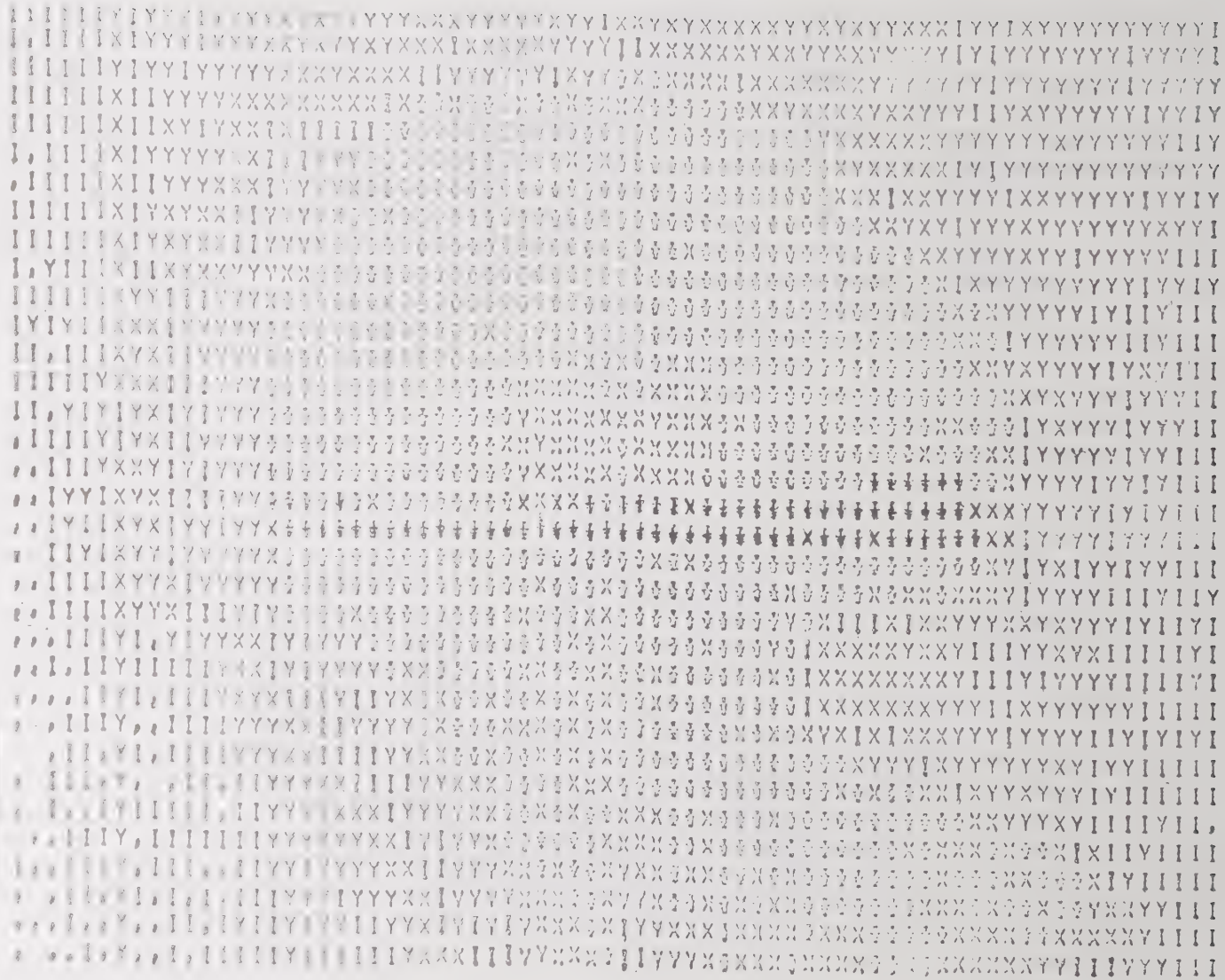


FIGURE 25 : Représentation discrète de l'objet isolé par le procédé décrit à la figure 24 .

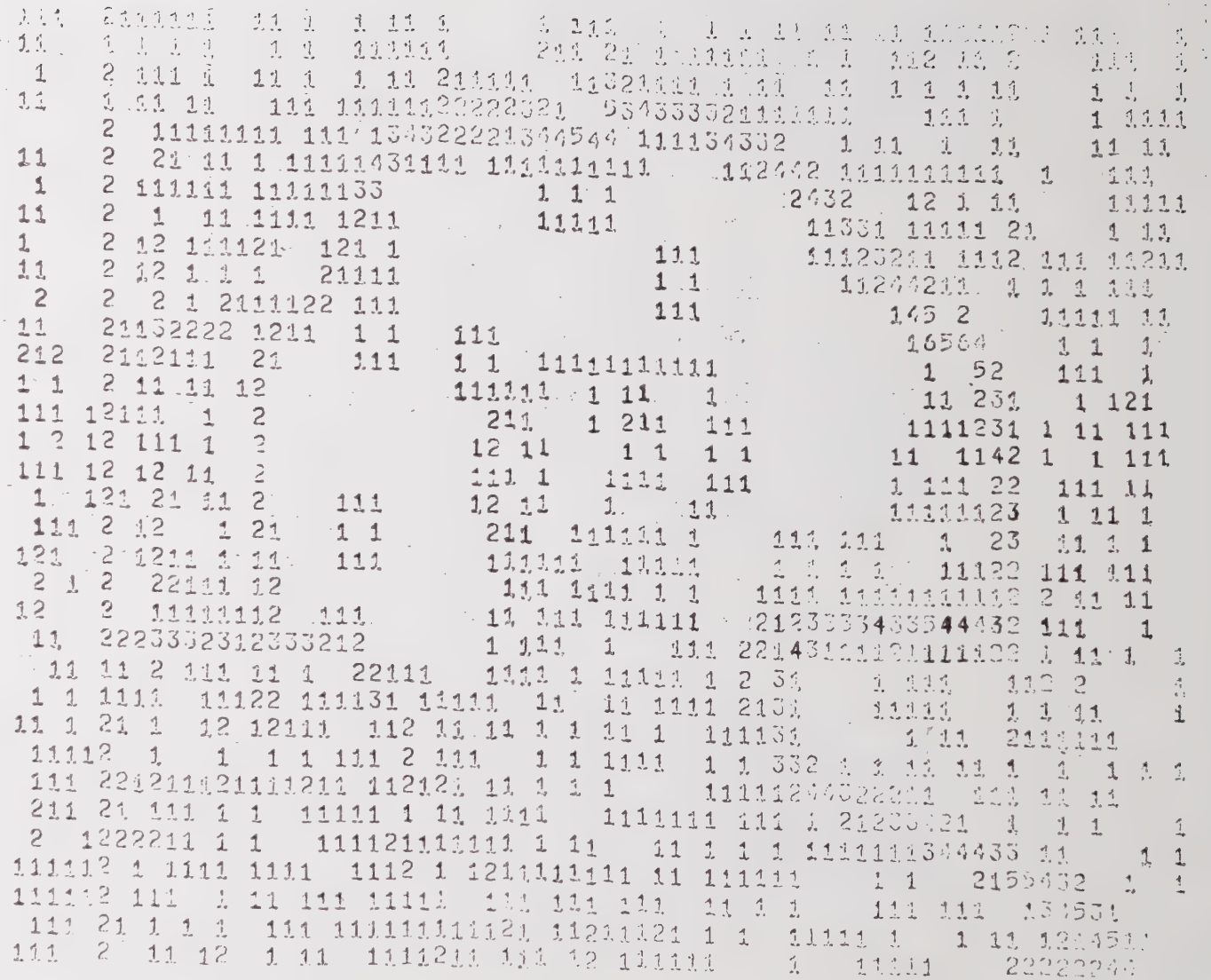
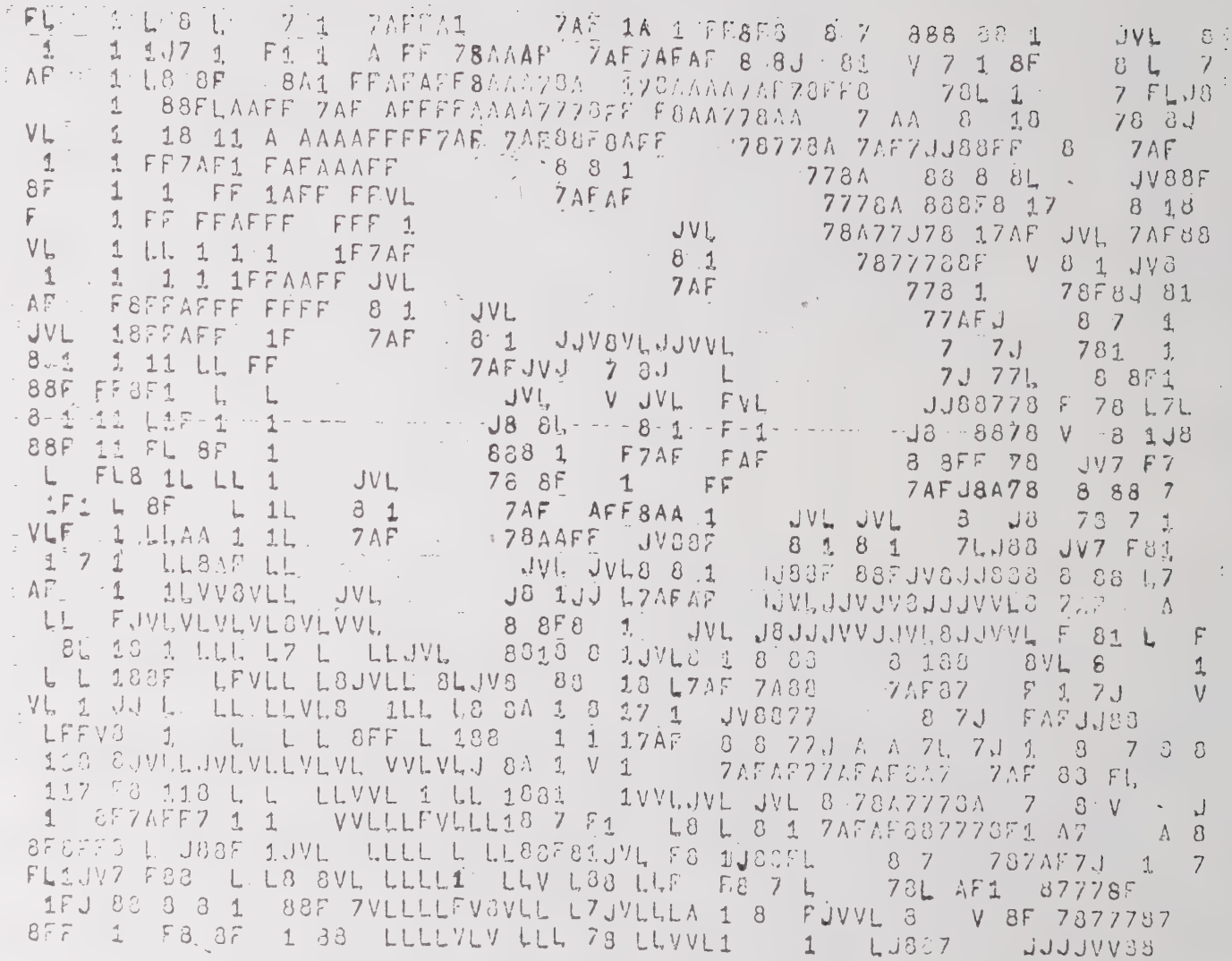


FIGURE 26 : Amplitude du GRADIENT calculé à partir de la représentation discrète de l'objet isolé tel qu'il se présente à la figure 25 (essai C) .





codage des directions

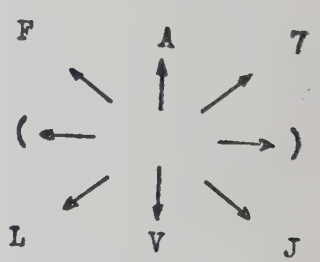



FIGURE 27 : Direction du GRADIENT calculé à partir de la représentation discrète de l'objet isolé tel qu'il se présente à la figure 25 (essai C).

TEINTE MOYENNE

TEXTURE

FIGURE 28 : Niveau de gris moyen et texture calculés à partir de la représentation discrète de l'objet isolé (essai C) .

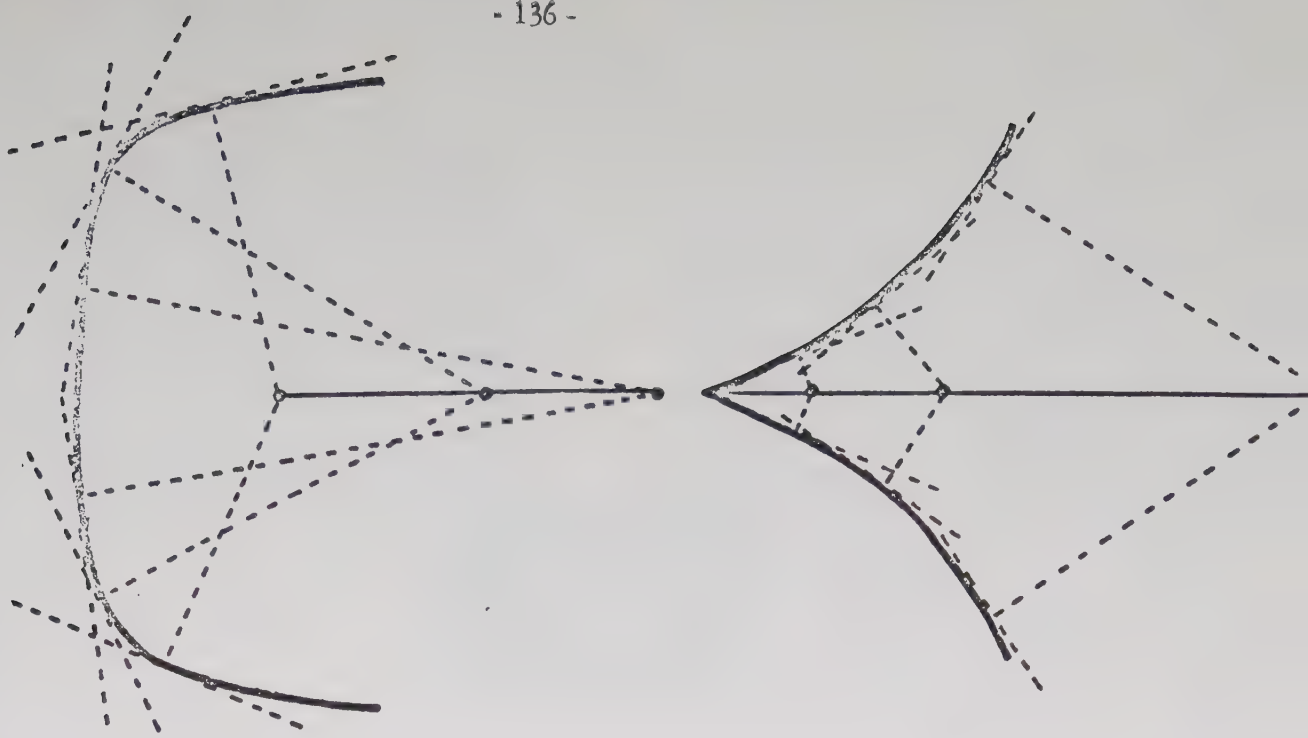


FIGURE 29 : Principe de la " squelettisation " d'une composante connexe d'une image binaire , d'après O. PHILBRICK [1 - D - 1]: le squelette est formé des points atteints simultanément par des ondes supposées se propager à vitesse constante à partir des contours de la composante connexe traitée . (En repèrant ces points successivement atteints à des intervalles de temps réguliers , on obtient des espacements croissants lorsque la convexité des contours est tournée vers le squelette et des espacements décroissants dans le cas contraire ...)

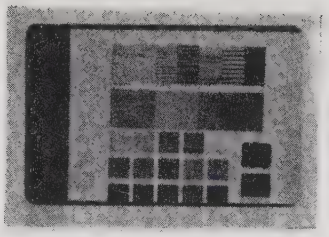


FIGURE 30 : Diapositive traitée au cours de l'essai D .
La numérisation a été effectuée à l'aide du capteur multi-niveaux " 2ème version " du R.A.M.I. .

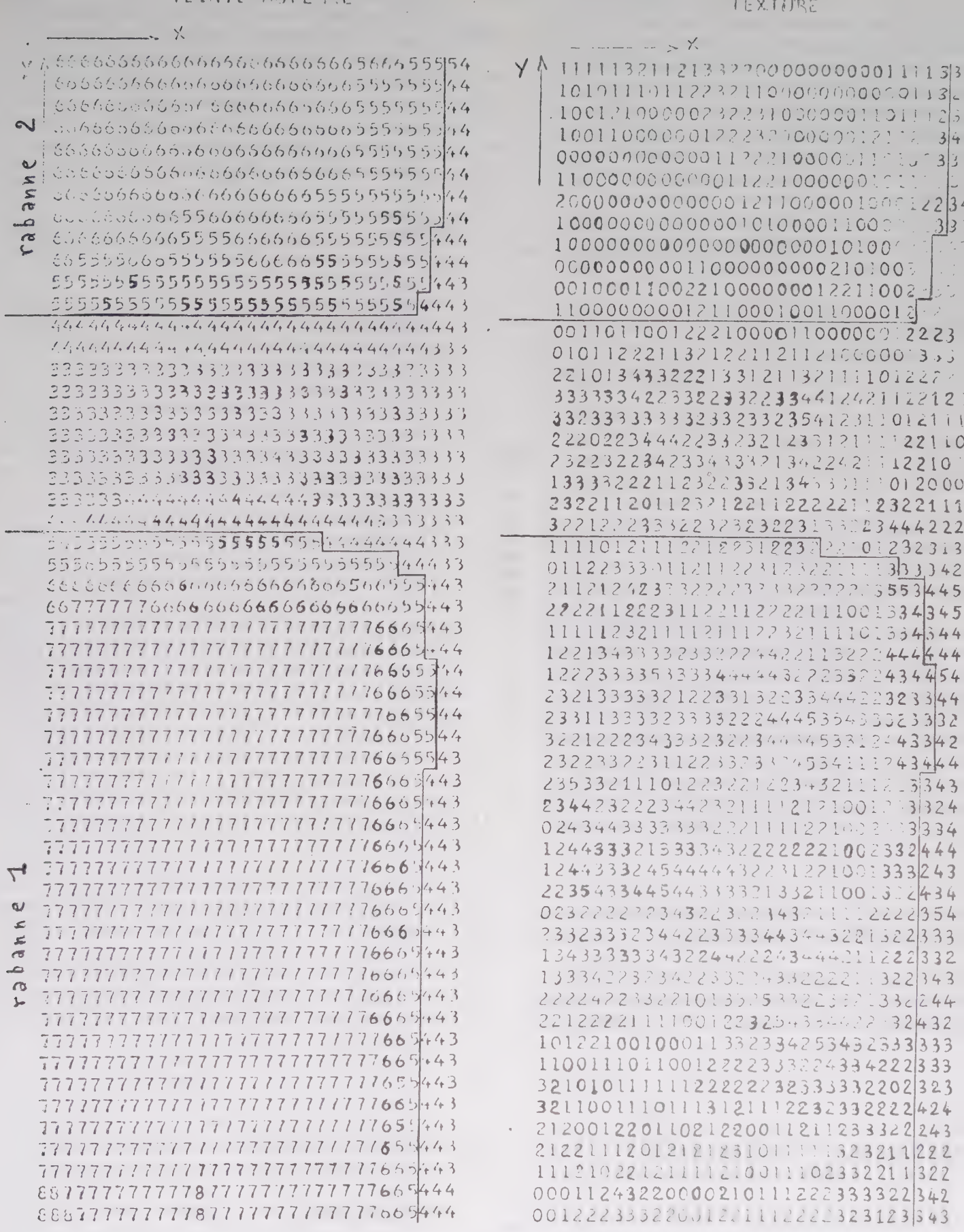



FIGURE 3I : Niveau de gris moyen et texture pour les échantillons de rabanne situés en haut à droite de la photographie de la figure 30 (essai D).

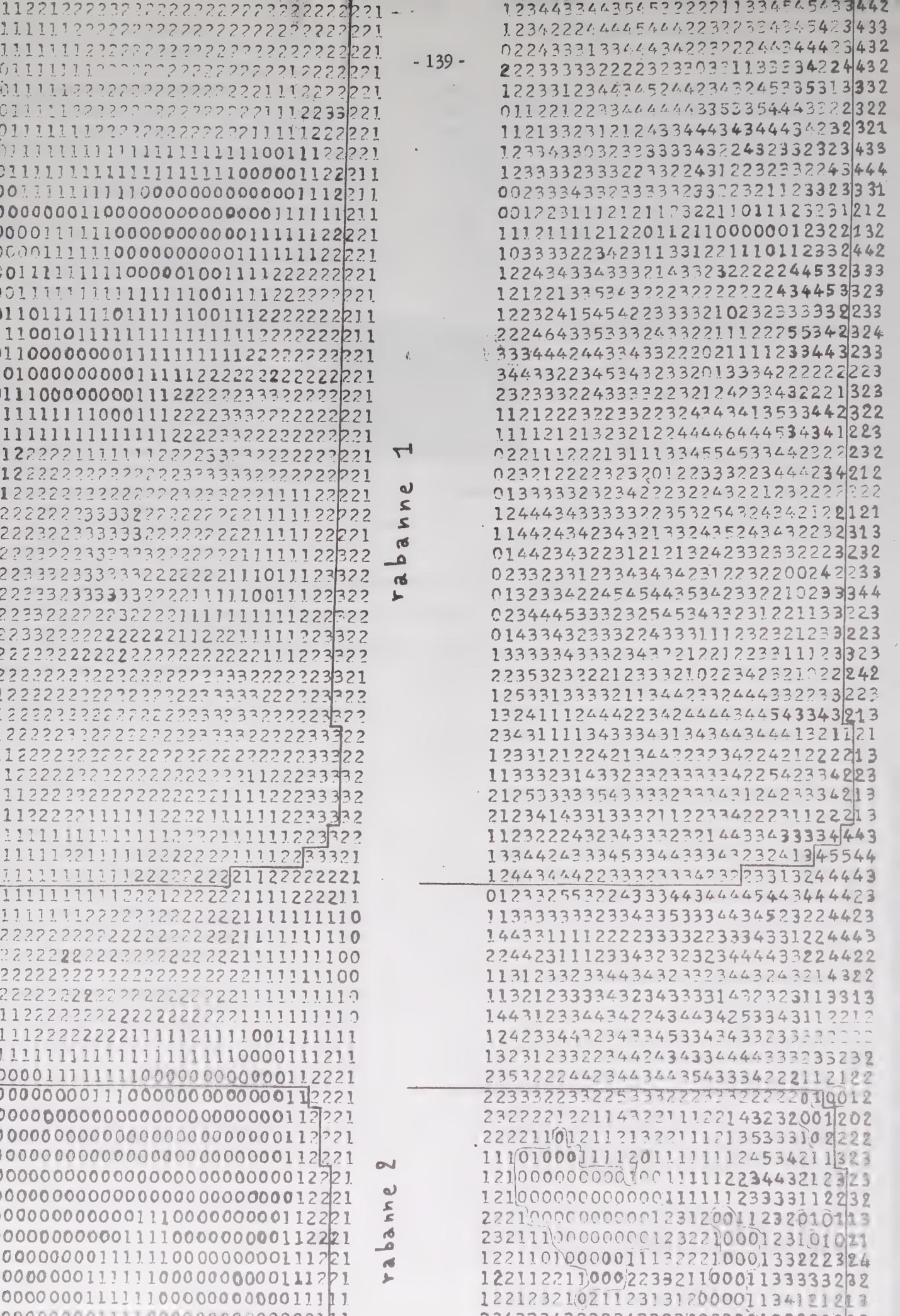



FIGURE 32 : Texture uniforme et texture de la texture pour les échantillons de rabanne situés e

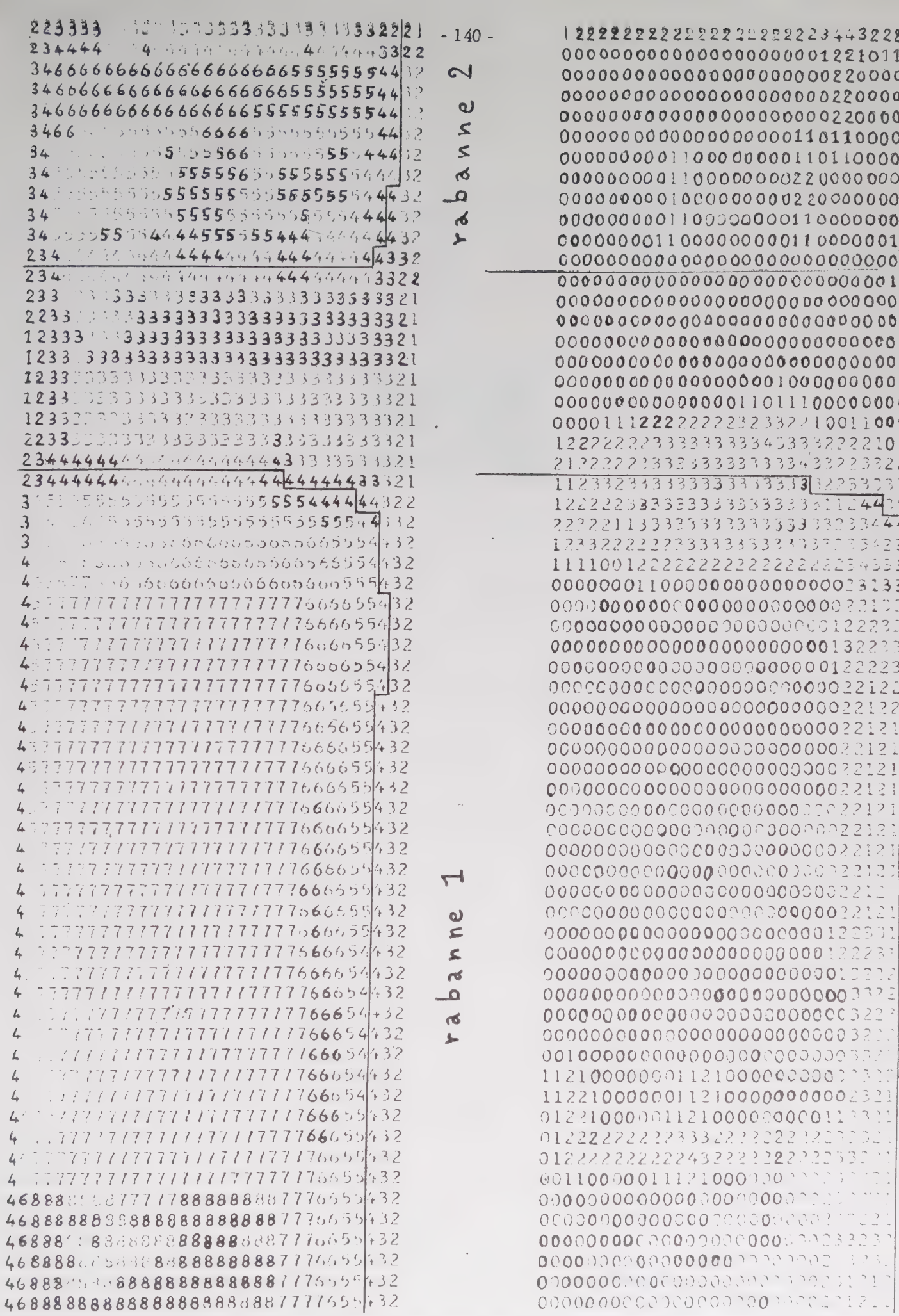



FIGURE 33 : Moyenne de la teinte moyenne et texture de la teinte moyenne pour les échantillon de rabanne situés en haut et à droite de la photographie de la figure 30 (essai D) .

Objets sur fond d'asphalte :

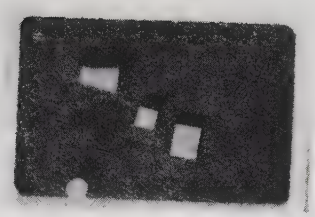


FIGURE 34 : Diapositive traitée au cours de l'essai E et G . La numérisation a été effectuée à l'aide du capteur multi-niveaux " 2ème version " du R.A.M.I. .

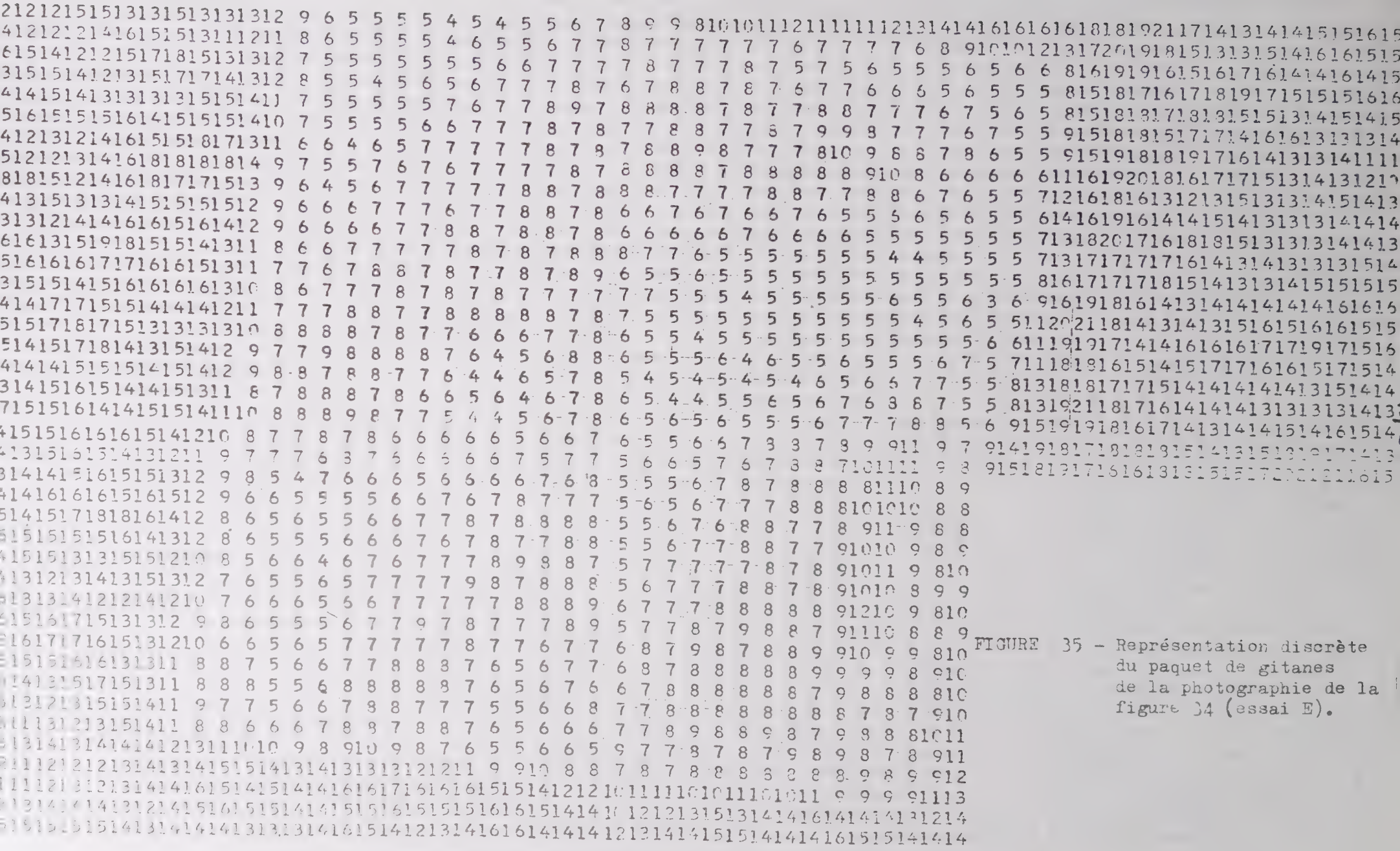


FIGURE 35 - Représentation discrète du paquet de gitanes de la photographie de la figure 34 (essai E).

Les niveaux de gris ont été définis sur une échelle à 32 échelons , par le capteur multiniveaux "2ème version" du R.A.M.I. ; La définition est de IO points par millimètre dans les deux sens

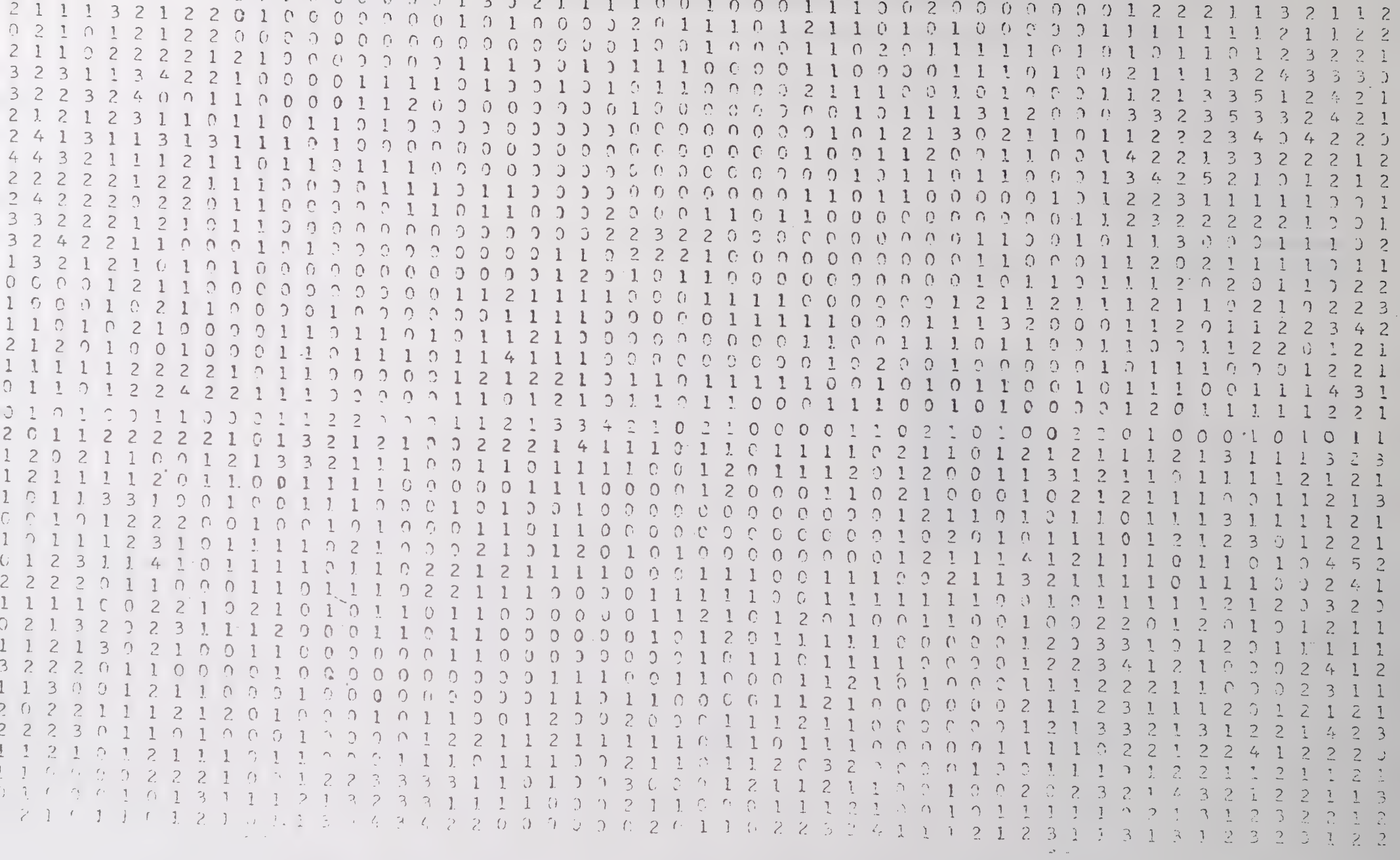


FIGURE 36 : Texture calculée à partir de la représentation discrète de la figure 35. (essai E) .

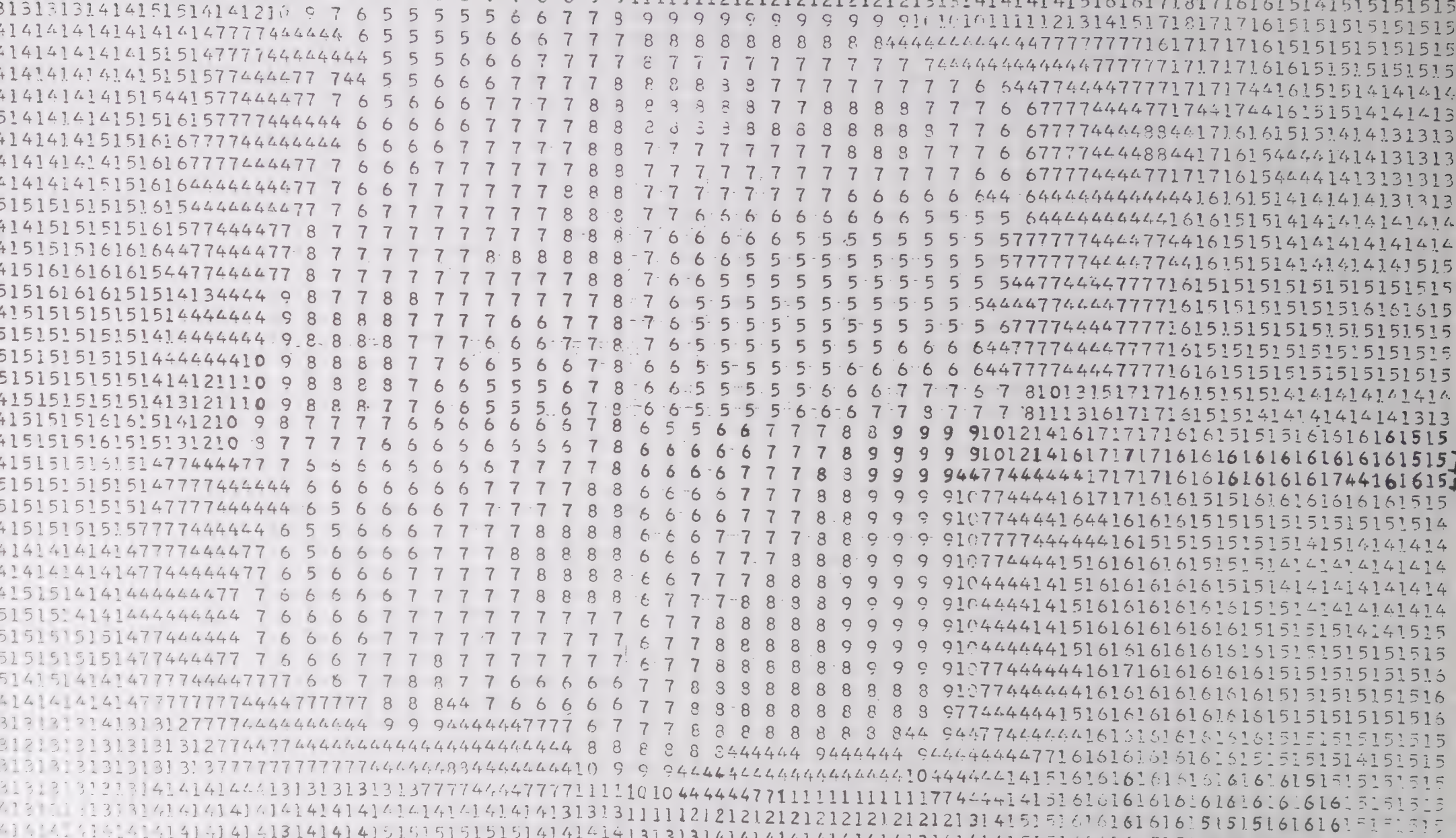


FIGURE 37 : Extraction des contours du paquet de gitanes de la photographie de la figure 34 (essai E):

points "77" obtenus par le DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES ;
points "88" obtenus par le DETECTEUR DE BORDS SEPARANT DES ZONES A REPARTITIONS STATISTIQUES DIFFERENTES DES ECLAIREMENTS ;
points "44" obtenus par squelettisation ;

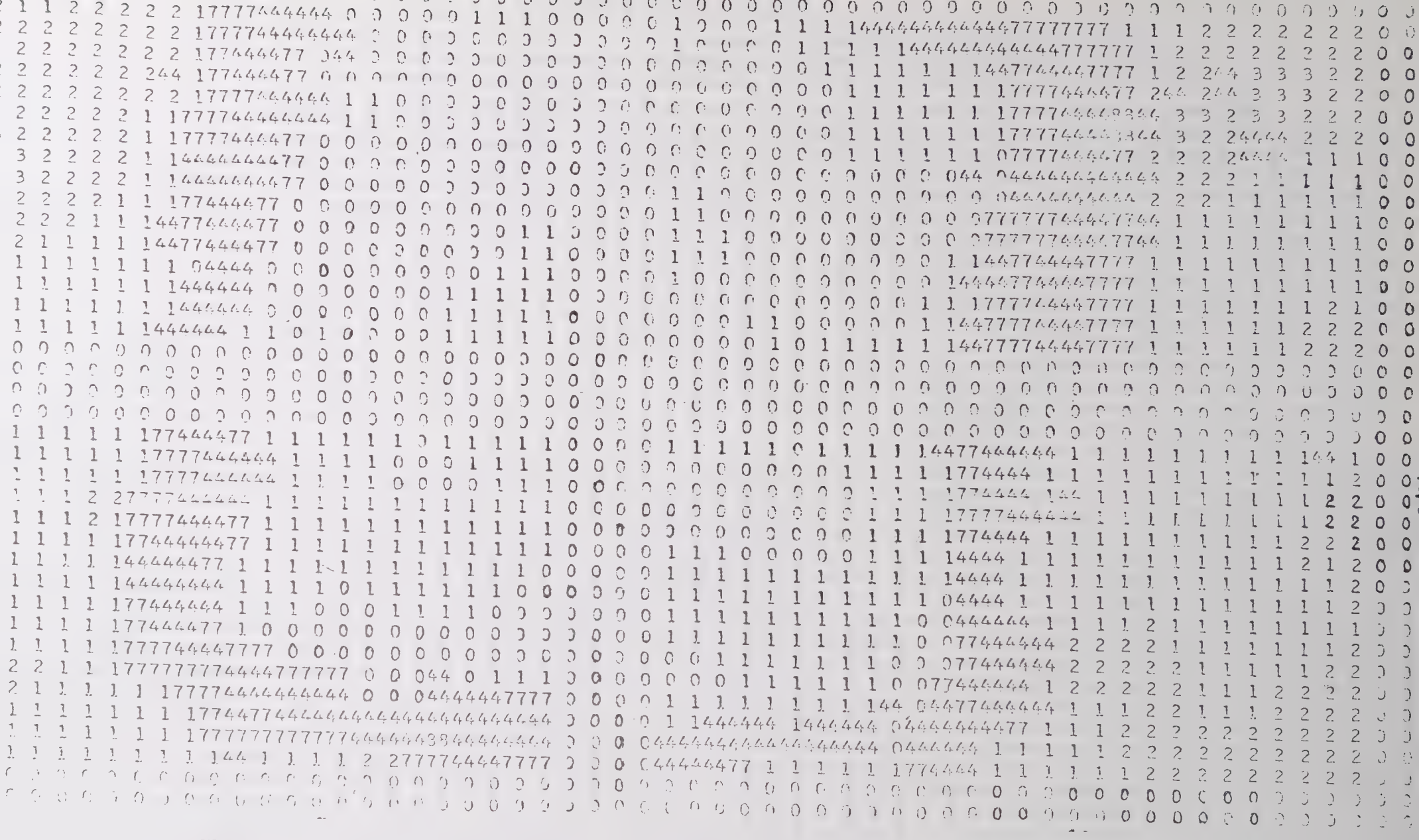


FIGURE 38 : Extraction des contours du paquet de gitanes de la photographie de la figure 34 (essai E) : points "77" obtenus par le DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES ;

points "88" obtenus par le DETECTEUR DE BORDS SEPARANT DES ZONES A REPARTITIONS STATISTIQUES DIFFERENTES DES ECLAIREMENTS ;

points "44" obtenus par squelettisation ;

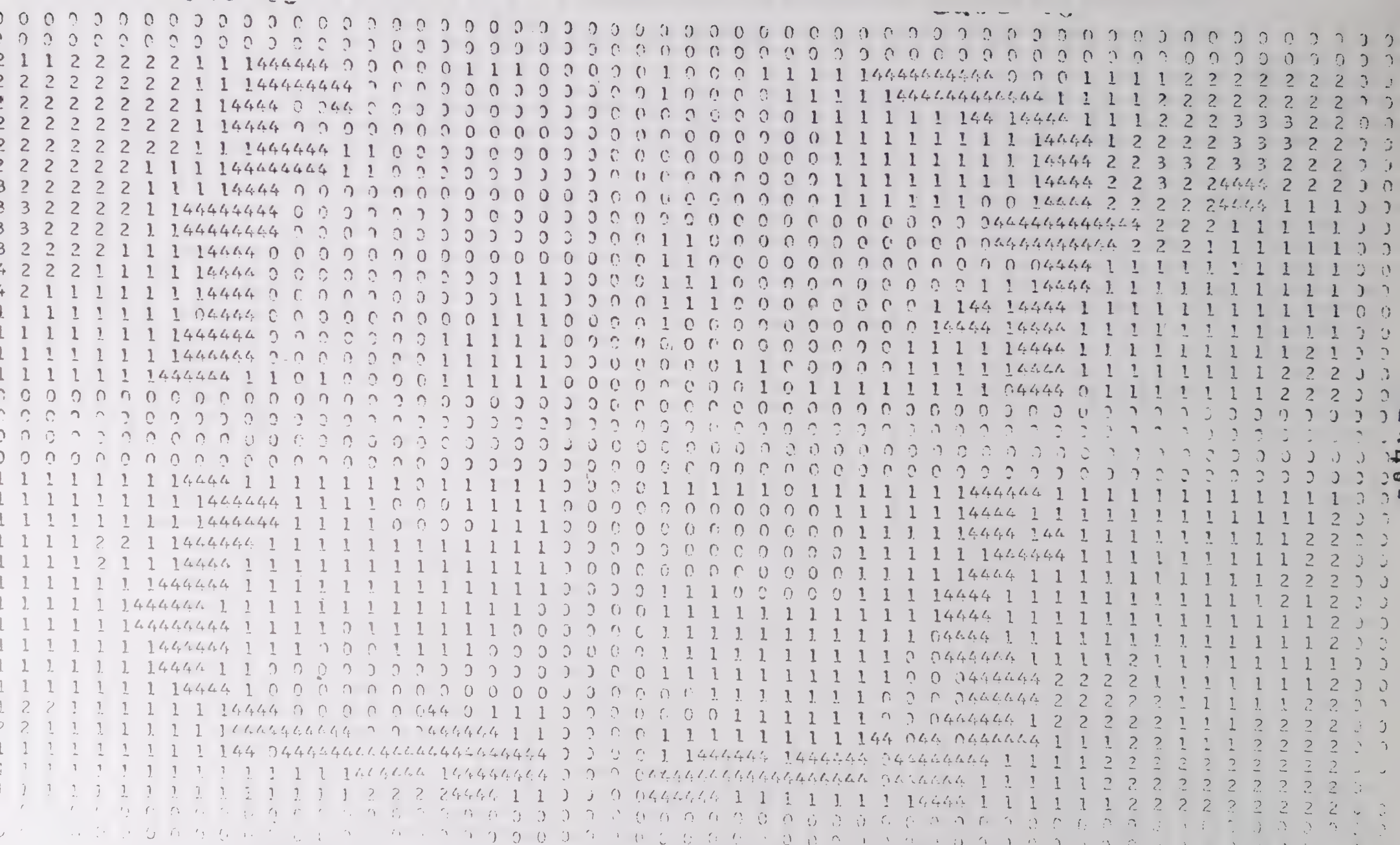
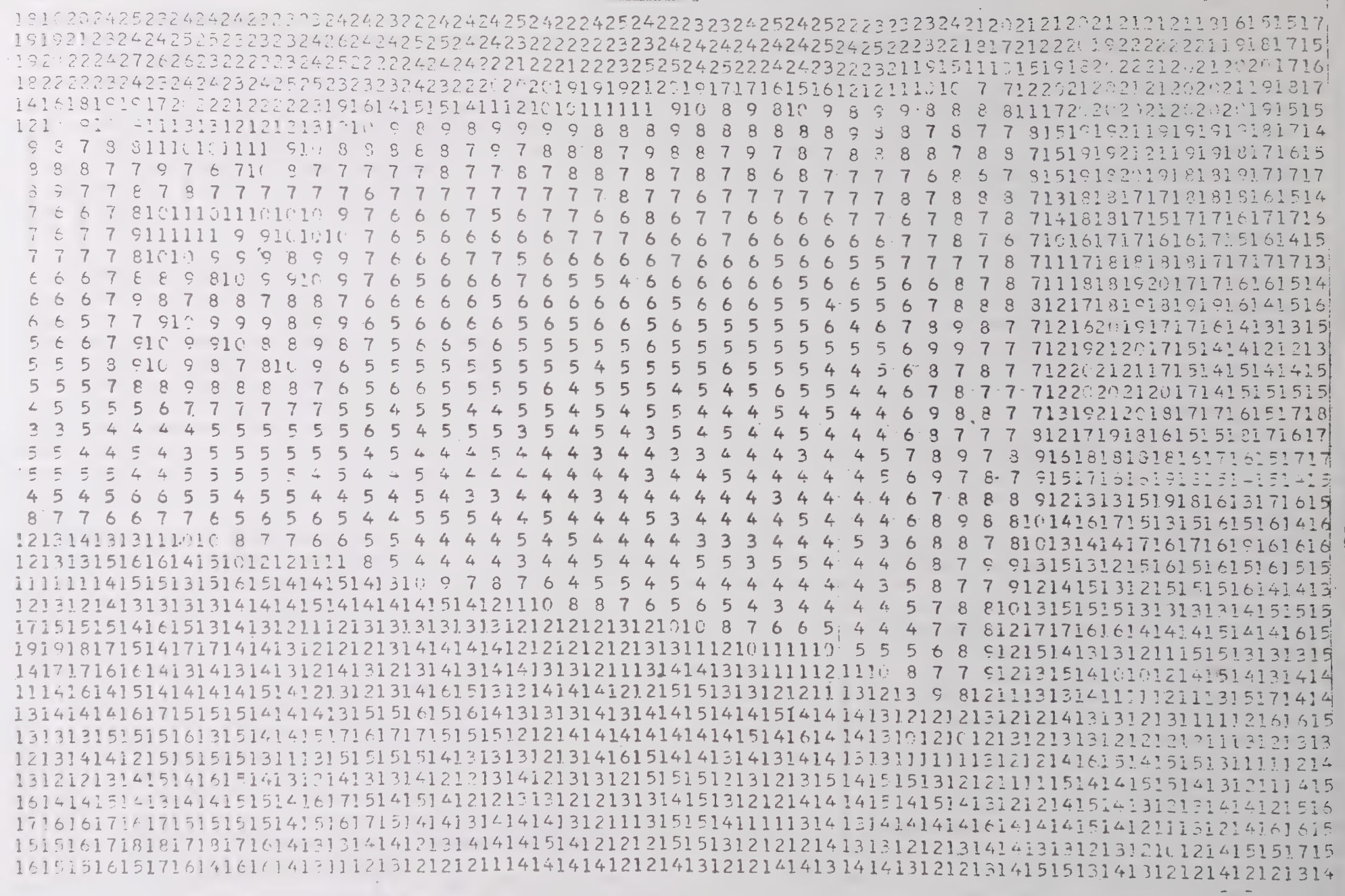


FIGURE 39 : Contours squelettisés du paquet de gitanes de la photographie de la figure 34 (essai E) : points "44" : squelette ;

autres points : texture calculée à partir de la zone délimitée

FIGURE 40 : Représentation discrète du gobelet de la photographie de la figure 34 (essai E) .



Les niveaux de gris ont été définis sur une échelle à 32 échelons , par le capteur multiniveaux "2ème version" du R.A.M.I. ; la définition est de IO points par millimètre dans les deux sens ( trame d'analyse de 240 x 360 couvrant toute la diapositive 24 x 36 ) .

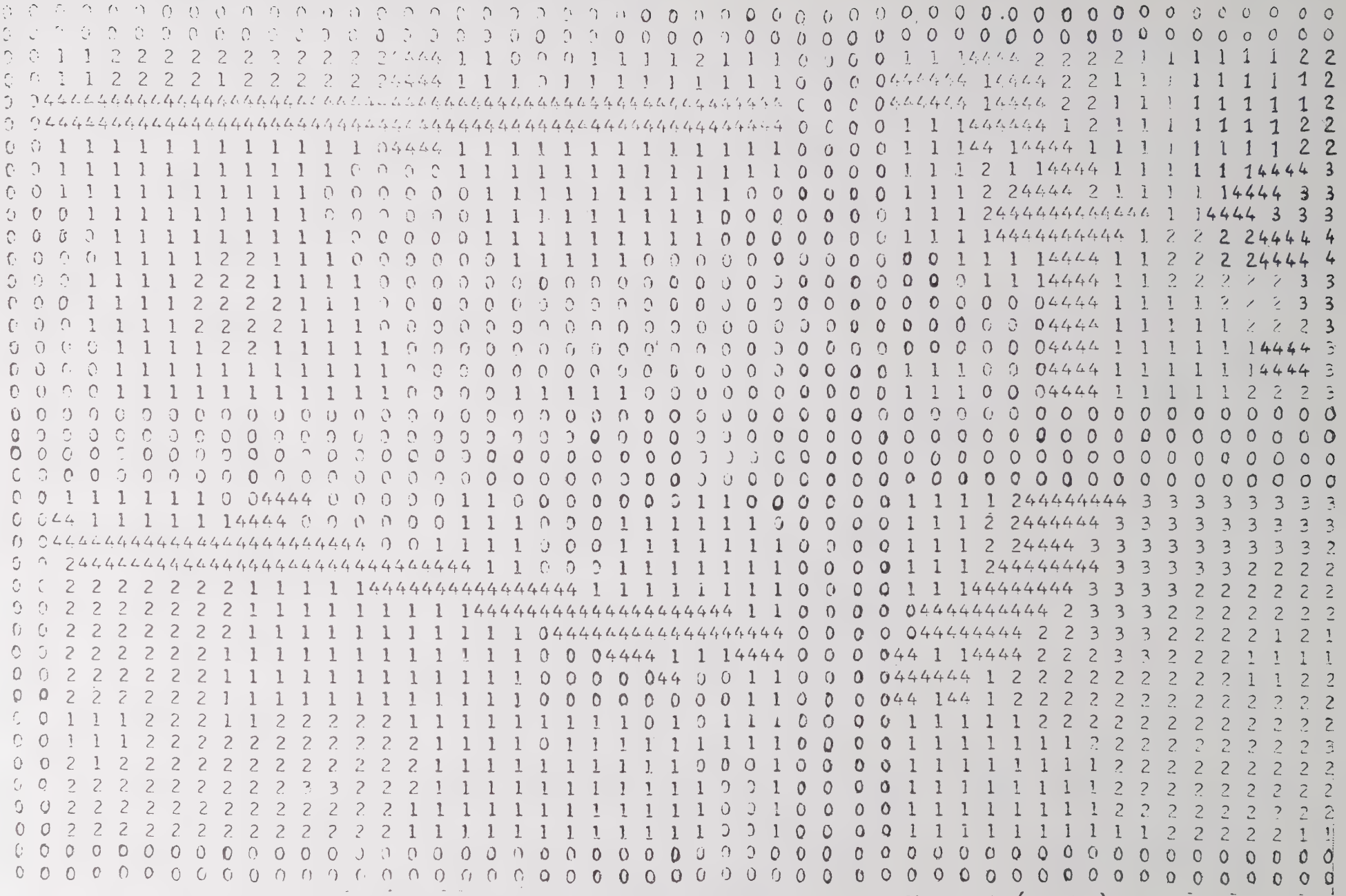


FIGURE 41 : Contours squelettisés du gobelet de la photographie de la figure 34 (essai E) :

points "44" : squelette ;

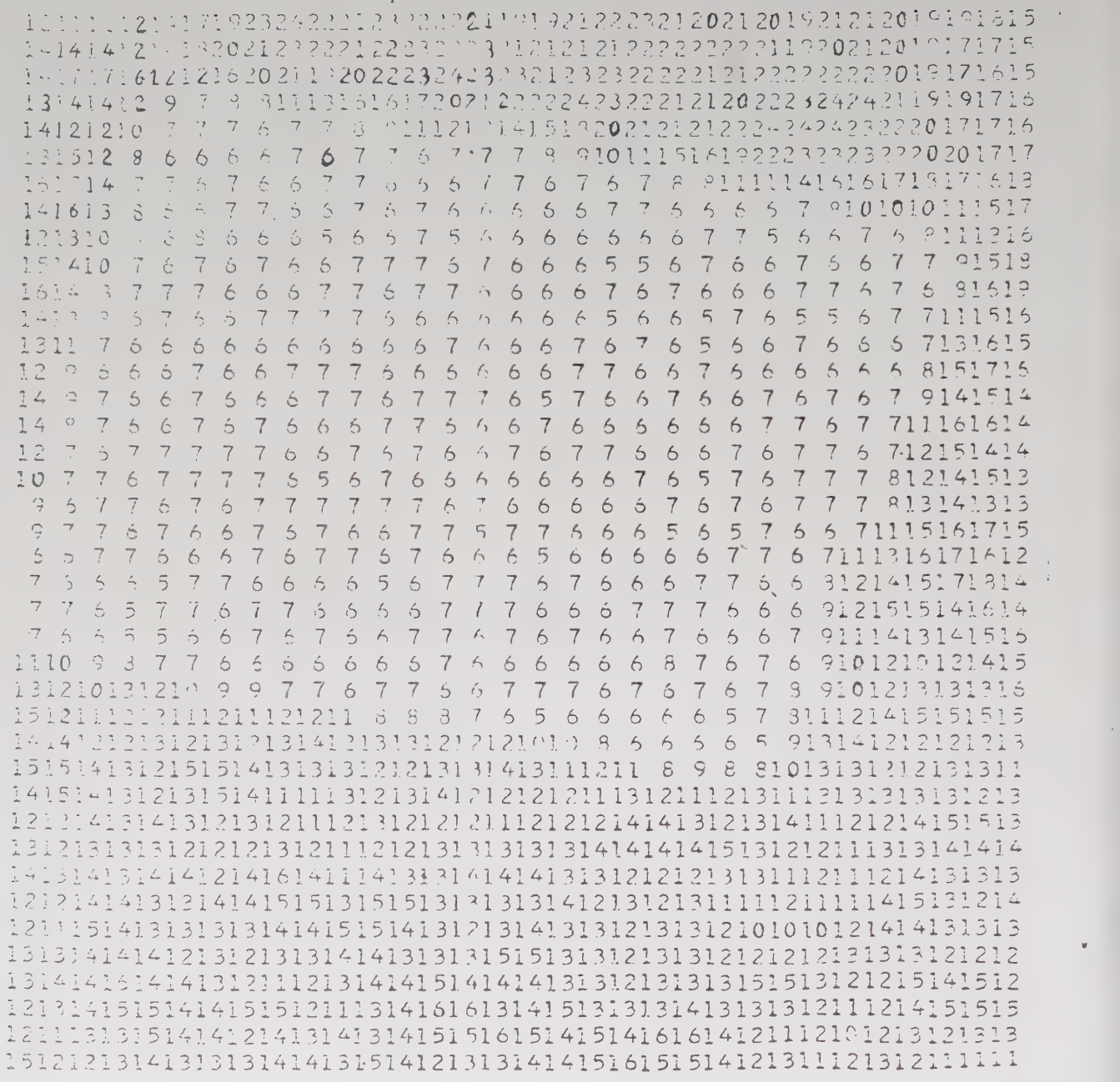
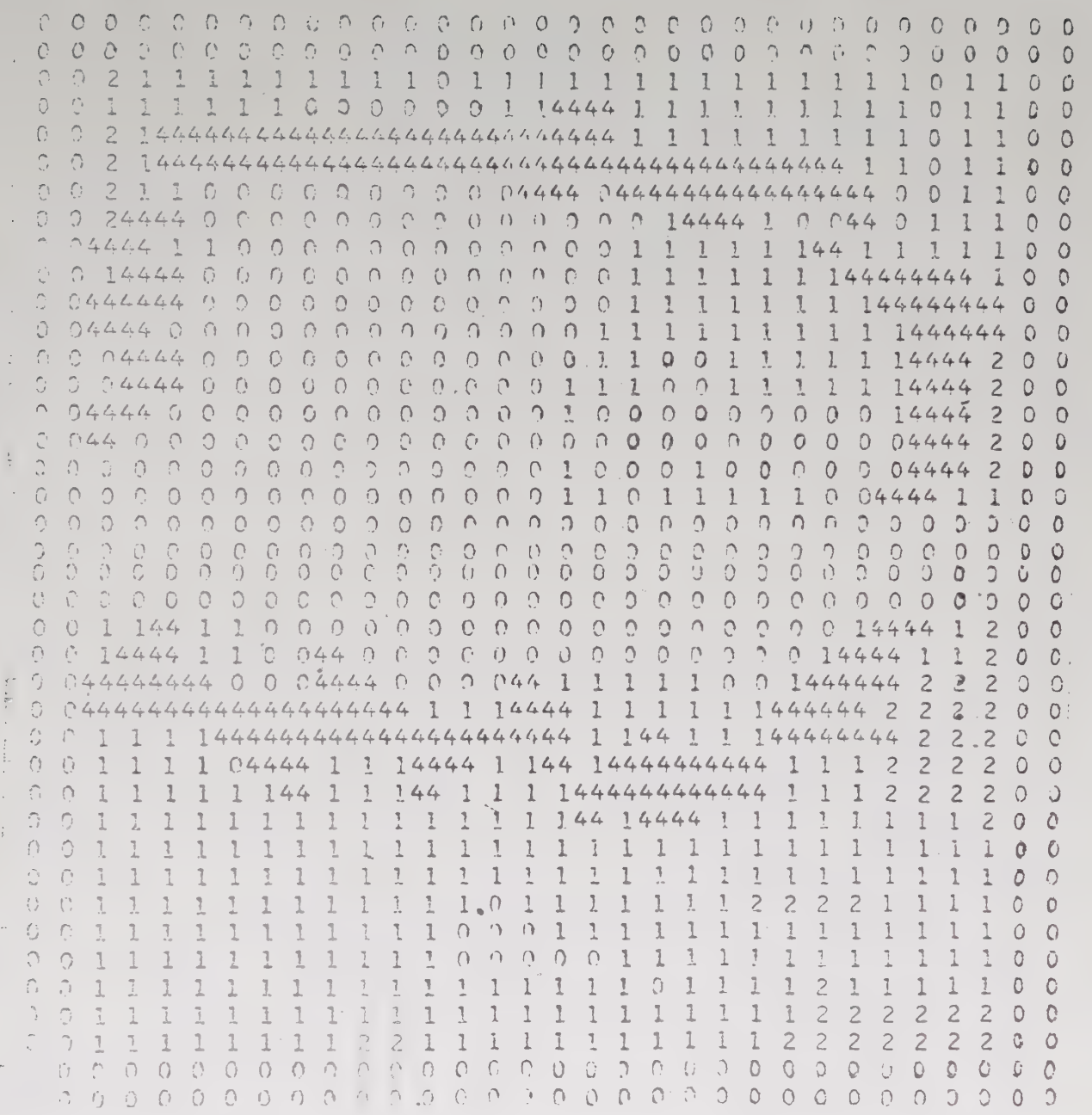


FIGURE 42 : Représentation discrète de la boîte de diapositives de la photographie de la figure 34 (essai E) .

Les niveaux de gris ont été définis sur une échelle à 32 échelons , par le capteur multiniveaux "2ème version" du R.A.M.I. ; la définition est de IO points par millimètre dans les deux sens ( trame d'analyse de 240 x 360 couvrant toute la diapositive 24 x 36 ) .



43 : Contours squelettisés de la boîte de diapositives de la photographie de la figure
(... 2) : points "44" : squelette ;
autres points : texture calculée à partir de la représentation discrète de la figure 42 .

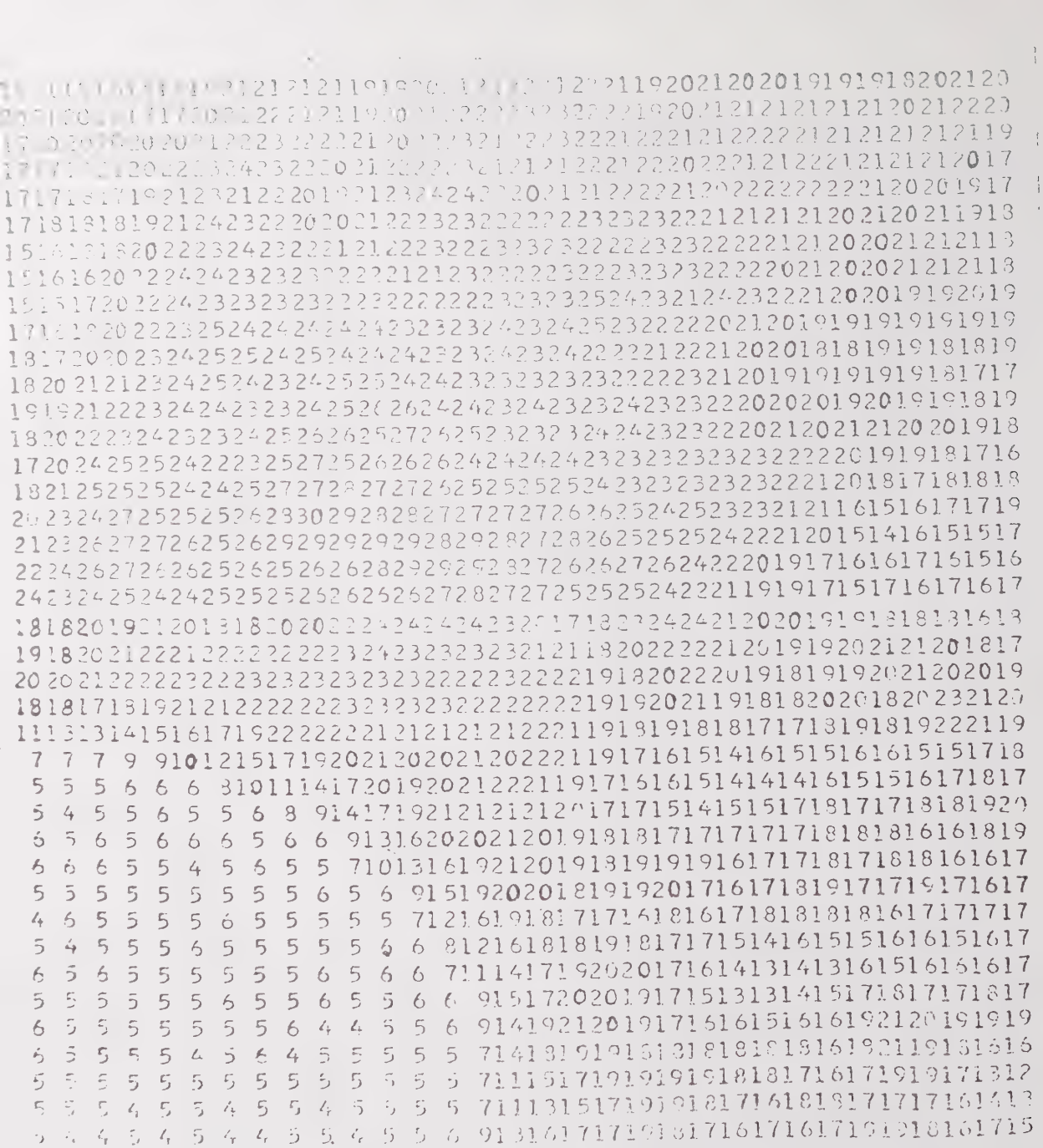


FIGURE 44 : Représentation discrète de la boîte cylindrique de la photographie de la figure 34 (essai E) .

Les niveaux de gris ont été définis sur une échelle à 32 échelons , par le capteur multiniveaux "2ème version" du R.A.M.I. ; la définition est de 10 points par millimètre dans les deux sens ( trame d'analyse de 240 x 360 couvrant toute la diapositive 24 x 36 ) .

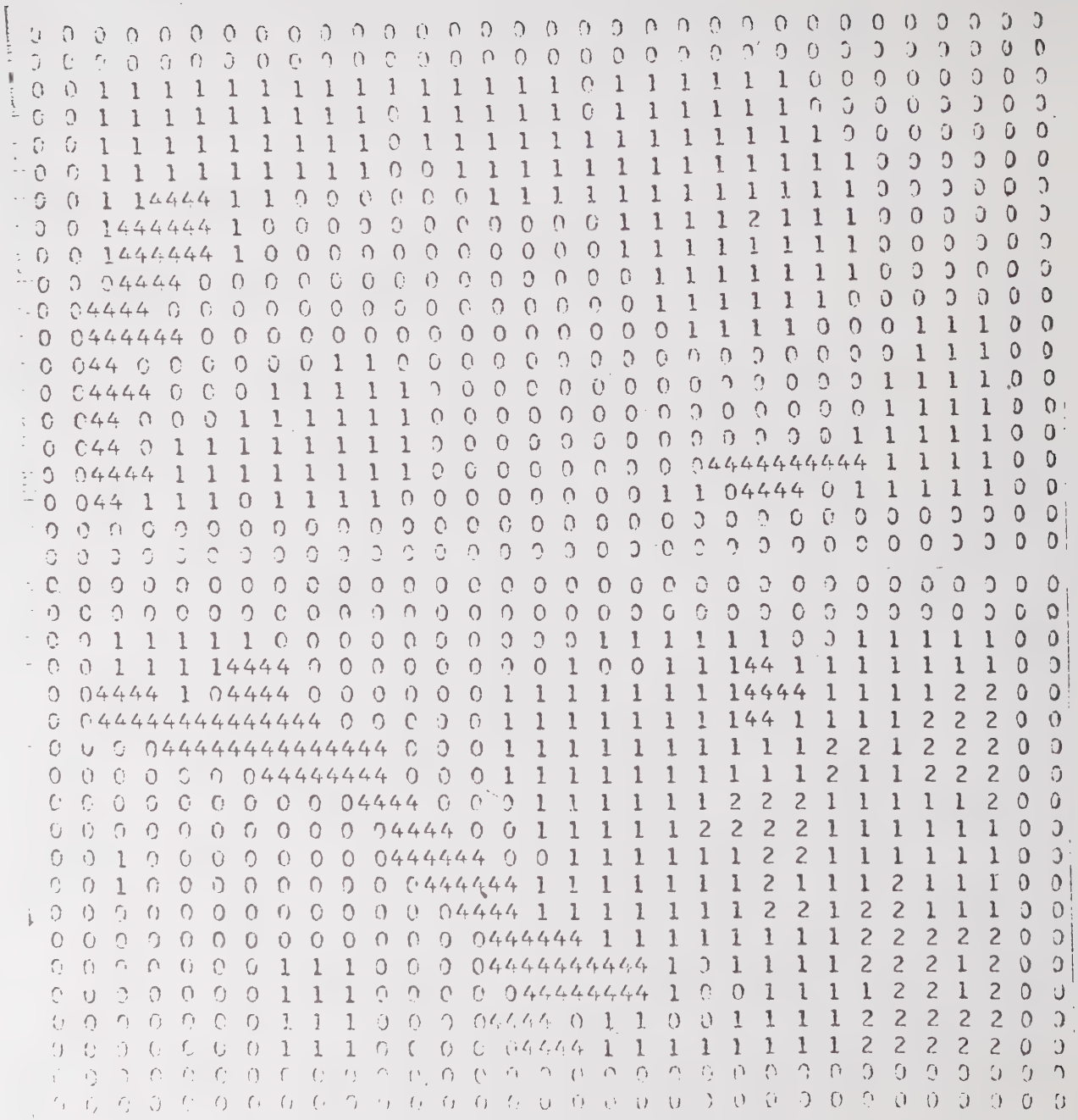


FIGURE 45 : Contours squelettisés de la boîte cylindrique de la photographie de la figure 34 (essai E) : points "44" : squelette ; autres points : texture calculée à partir de la représentation discrète de la figure 44 .

Objets sur fond d'herbe :

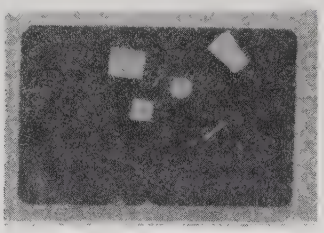


FIGURE 46 : Diapositive traitée au cours de l'essai E .
La numérisation a été effectuée à l'aide du capteur multi-niveaux " 2ème version " du R.A.M.I. .

Les niveaux de gris ont été définis sur une échelle à 32 échelons , par le capteur multiniveaux "2ème version" du R.A.M.I. ; la définition est de 10 points par millimètre dans les deux sens ( trame d'analyse de 240 x 360 couvrant toute la diapositive 24 x 36 ) .

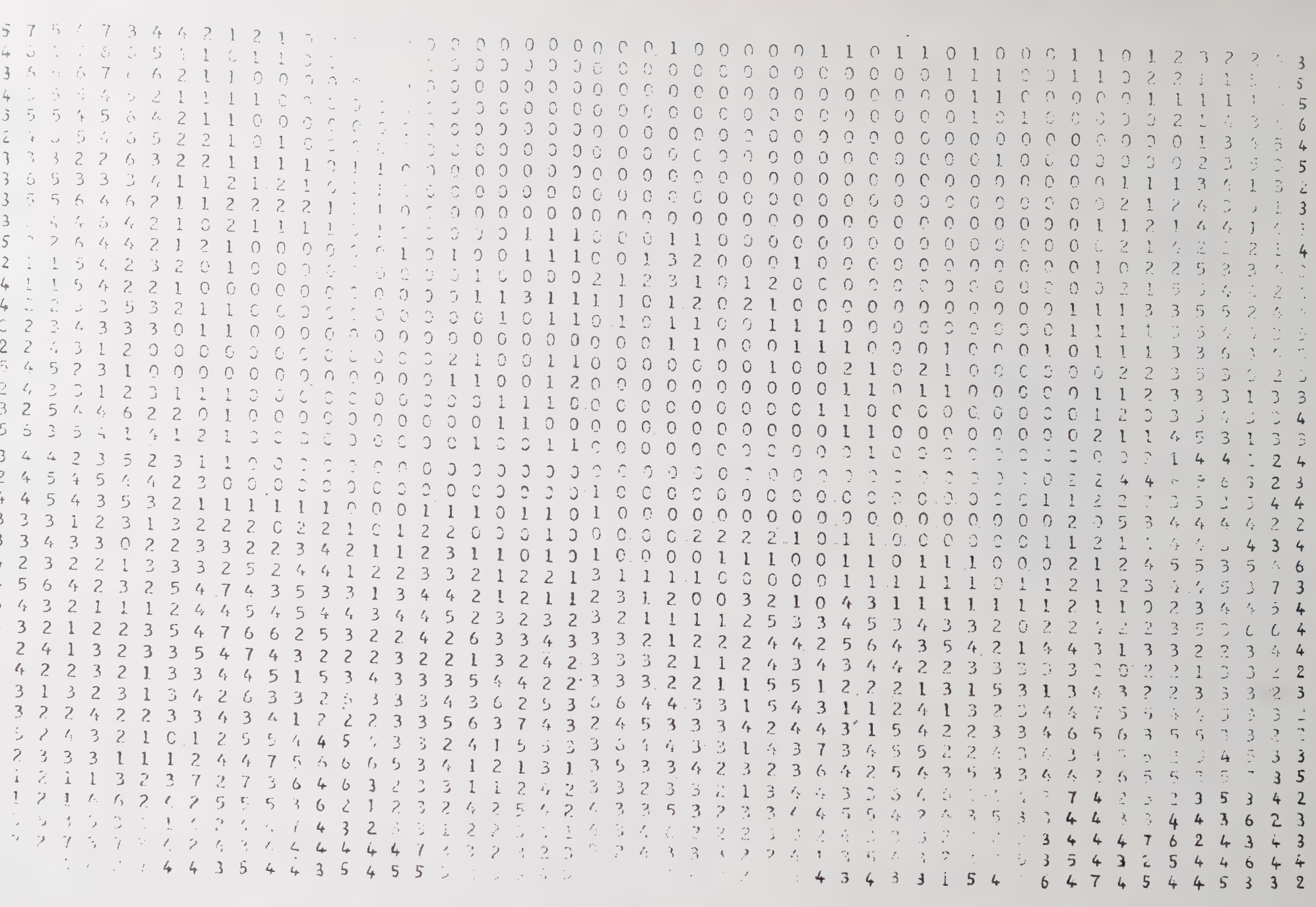


FIGURE 48 : Texture calculée à partir de la représentation discrète de la figure 47 (essai E).

FIGURE 4° : Extraction des contours du paquet de gitanes de la photographie de la figure 4° (essai E) :

points "77" obtenus par le DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES ;
points "88" obtenus par le DETECTEUR DE BORDS SEPARANT DES ZONES A REPARTITIONS STATISTIQUES DIFFERENTES DES ECLAIREMENTS ;
points "44" obtenus par squelettisation ;

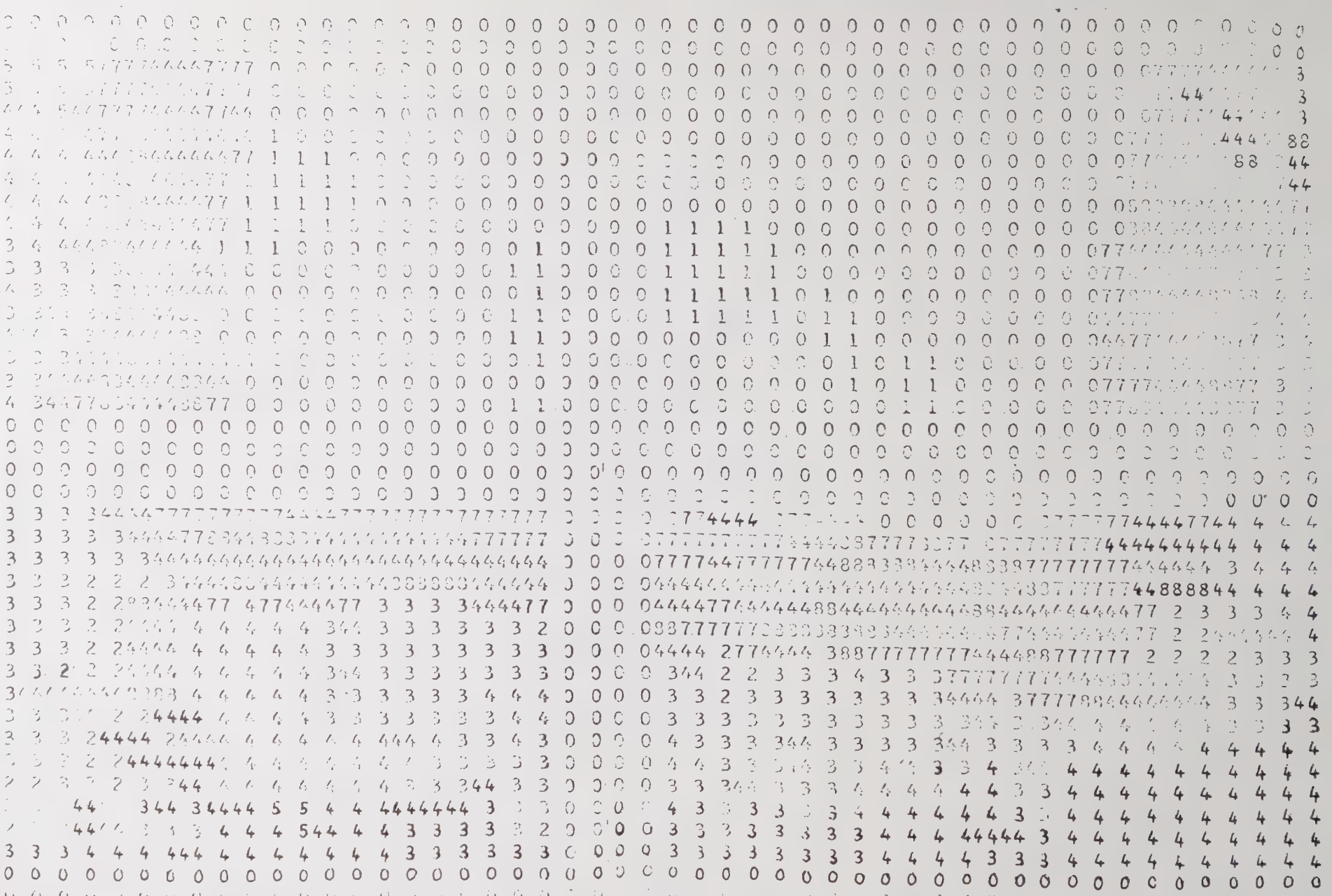


FIGURE 50 : extraction des contours du paquet de gitanes de la photographie de la figure 48 (ensemble E) : points "77" obtenus par le DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES ;
points "88" obtenus par le DETECTEUR DE BORDS SEPARANT DES ZONES A REPARTITIONS STATISTIQUES DIFFERENTES DES ECLAIREMENTS ;
points "44" obtenus par squelettisation ;
autres points : texture calculée à partir de la représentation discrète de la figure 47 .

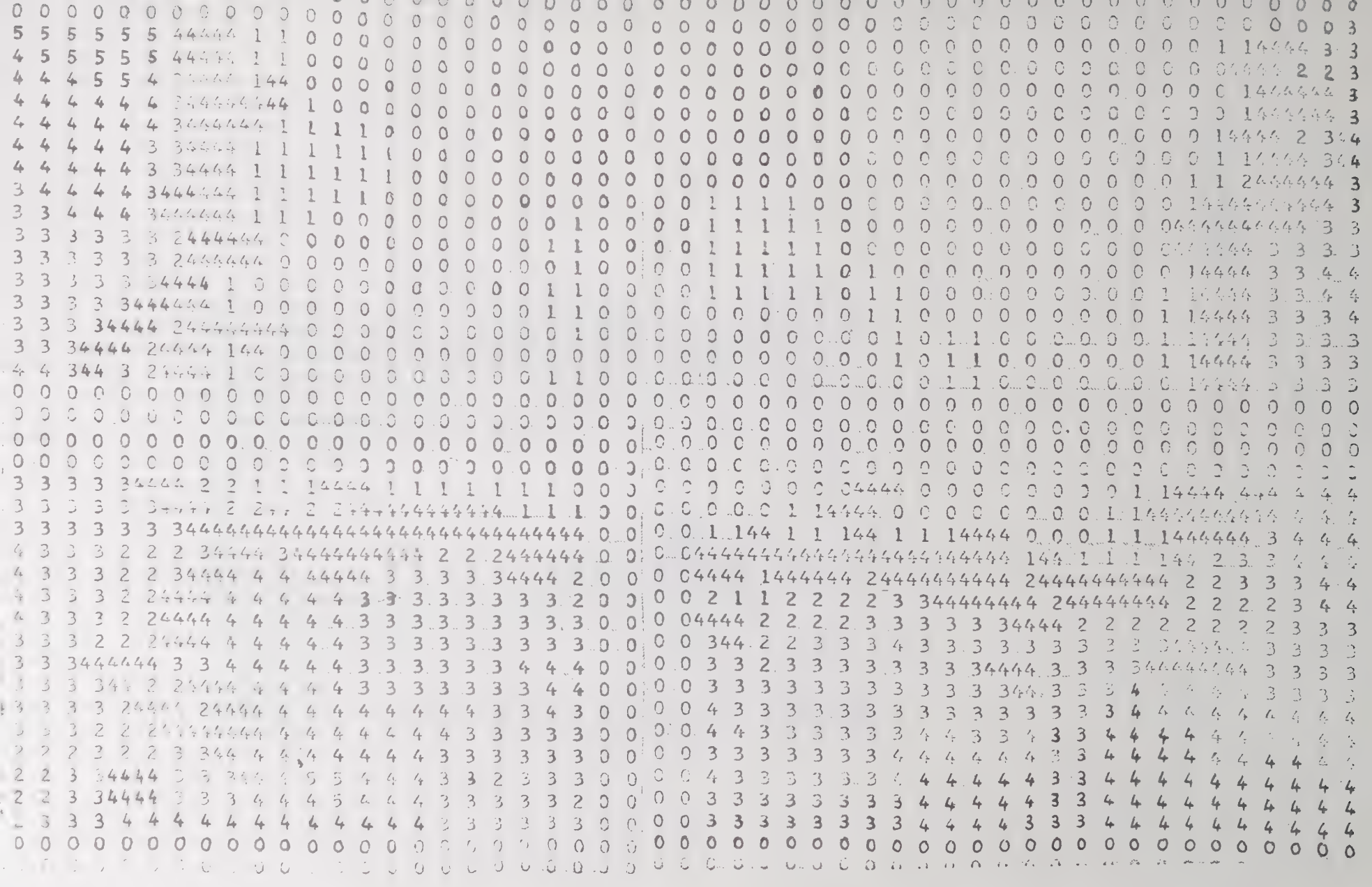


FIGURE 5I : Contours squelettisés du paquet de gitanes de la photographie de la figure 46 (essai E) : points "44" : squelette ;

autres points : texture calculée à partir de la représentation discrète de la figure 47 .

FIGURE 52 : Diapositive traitée au cours de l'essai F et H .
" place St Marc à Venise " .
La numérisation a été effectuée à l'aide du capteur multi-niveaux " 2ème version " du R.A.M.I. .

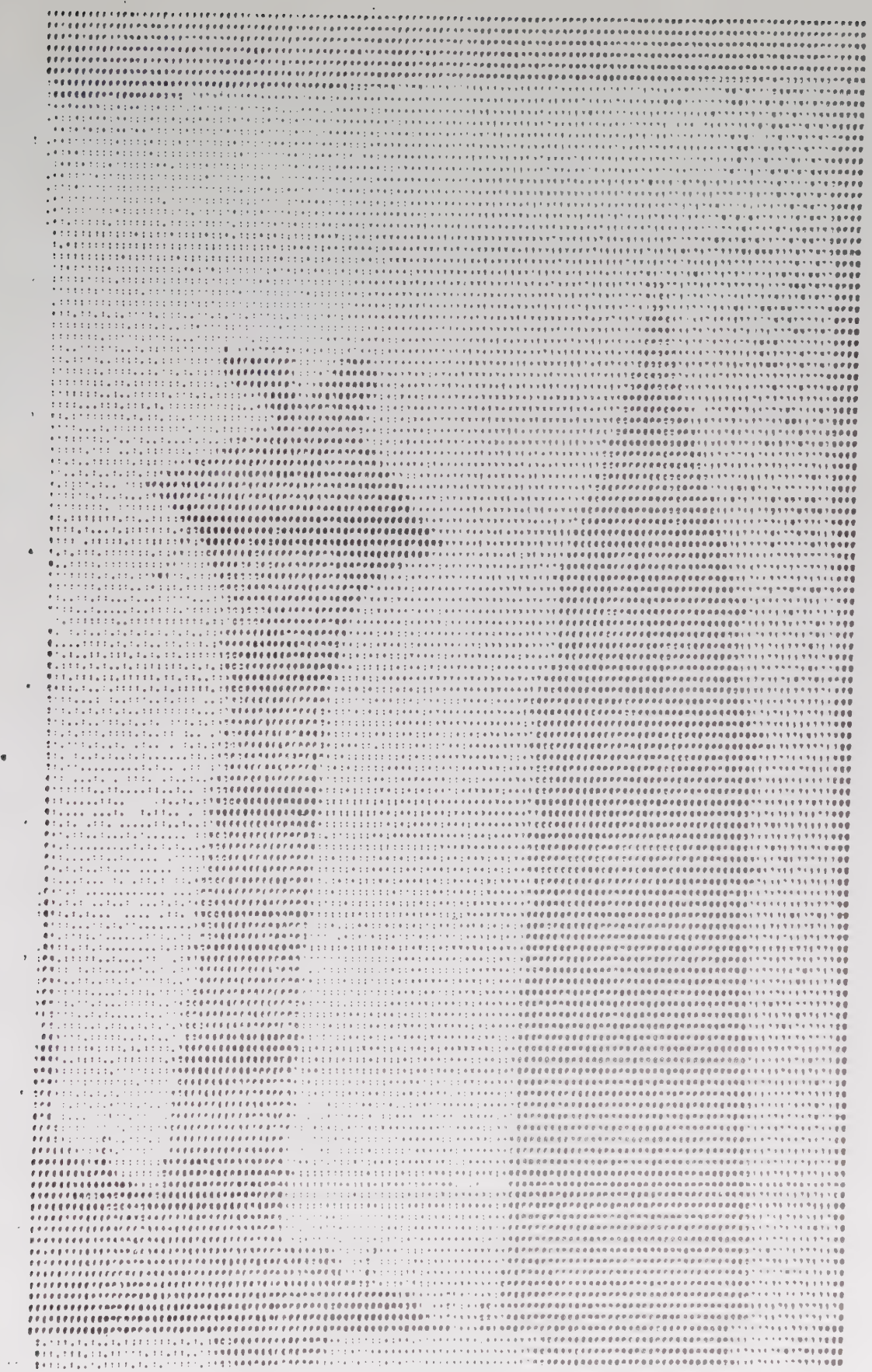


FIGURE 53 : Représentation discrète de la photographie de la figure 52(essai F). Simulation des niveaux de gris définis par le capteur multiniveaux "2eme version" du R.A.M.I. à partir des surimpressions (10 combinaisons de caracteres pour représenter 3 niveaux groupés..., ou 4 aux extrémités de l'echelle qui comprend 32 échelons) ; la trame d'analyse de 240 × 360 est ramenée à 120 × 120 pa sauts de lignes et de colonnes

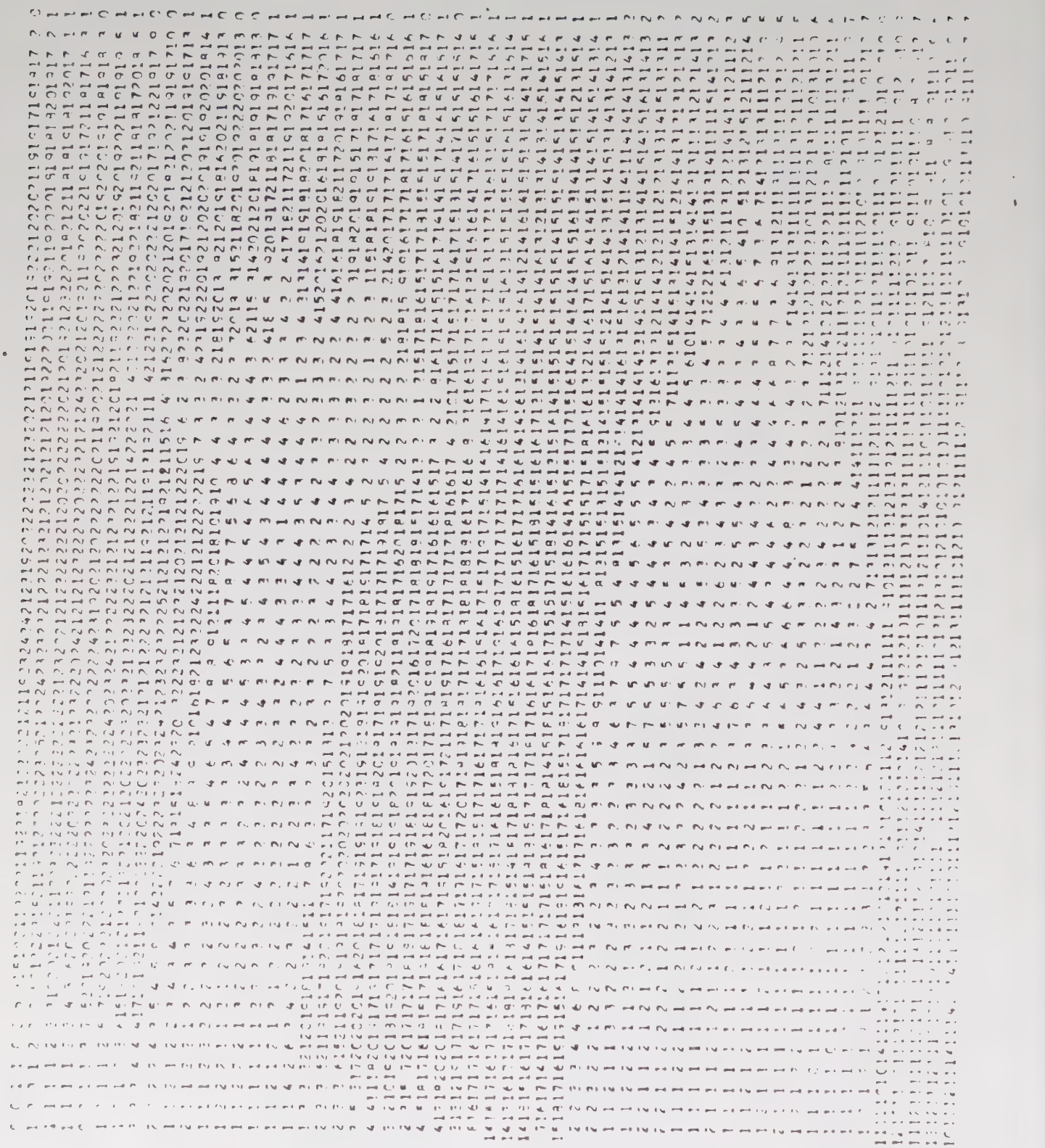


FIGURE 54 : Représentation discrète numérique de la photographie de la figure 52 (essai F) .
La trame de I20 x I20 utilisée pour le traitement a été ramenée à 60 x 60 pour l'impression .
Les niveaux de gris sont repérés sur une échelle à 32 échelons .

FIGURE 55 : Extraction des contours des monuments de la photographie de la figure 52 (essai F) :
points "90" obtenus par le DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES ;
autres points : niveaux de gris moyens calculés à partir de la représentation discrète de la figure 53 ( trame ramenée à 5% x 5% pour l'impression ) .

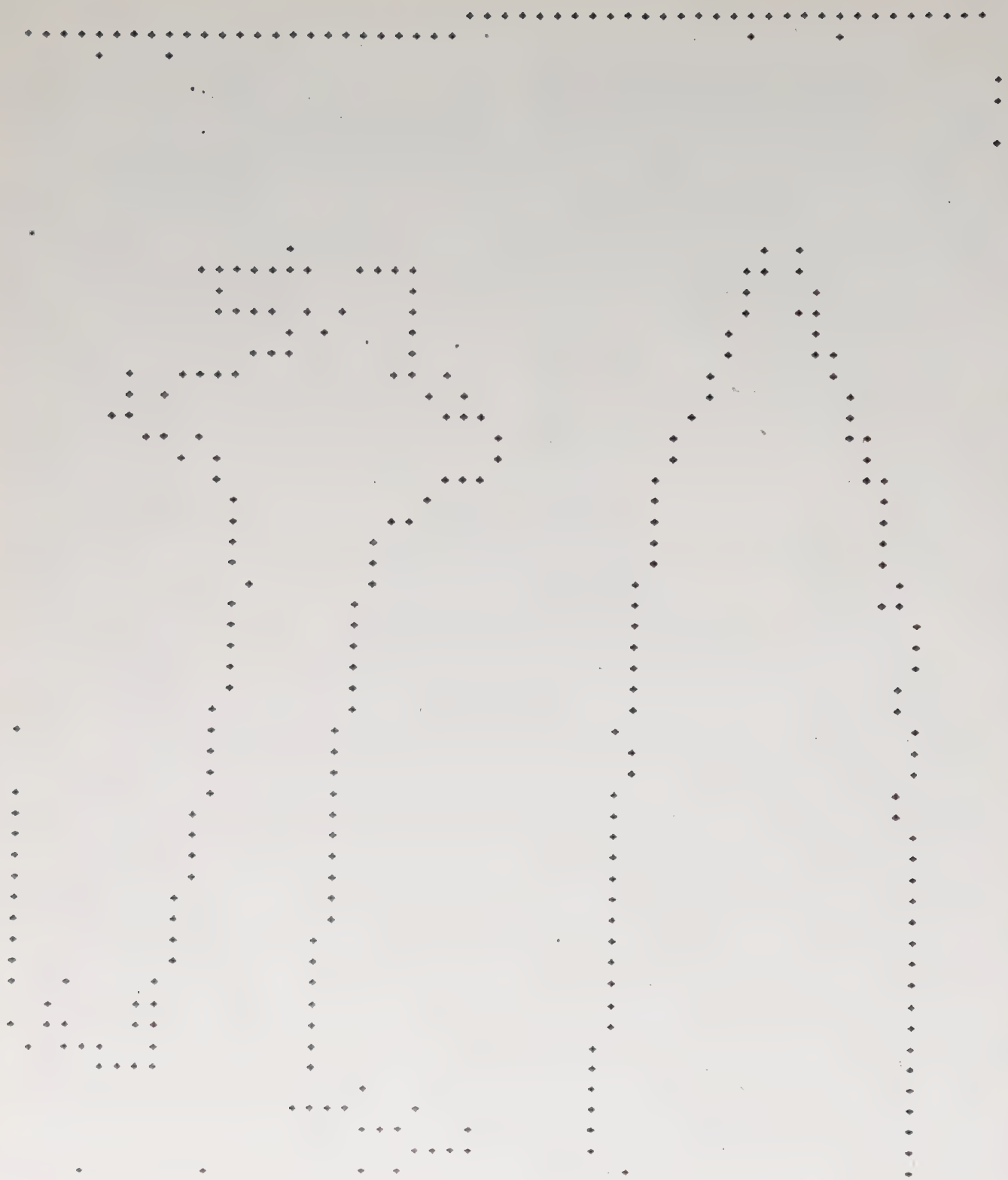


FIGURE 56 : Squelettes déduits des résultats de l'extraction de contours présentée à la figure 55 , pour les monuments de la photographie de la figure 52 (essai F) . Leur épaisseur de tracé est bien égale à 2 points , verticalement et horizontalement , ... sur la trame utilisée pour le calcul , bien que cela n'apparaisse pas à l'impression du fait que la définition a été réduite de moitié dans les deux sens ( 56 x 56 au lieu de 112 x 112 ) .

FIGURE 57 : Diapositive traitée au cours de l'essai F et H .
" façade à Sully-sur-Loire " .
La numérisation a été effectuée à l'aide du capteur multi-niveaux " 2ème version " du R.A.M.I. .

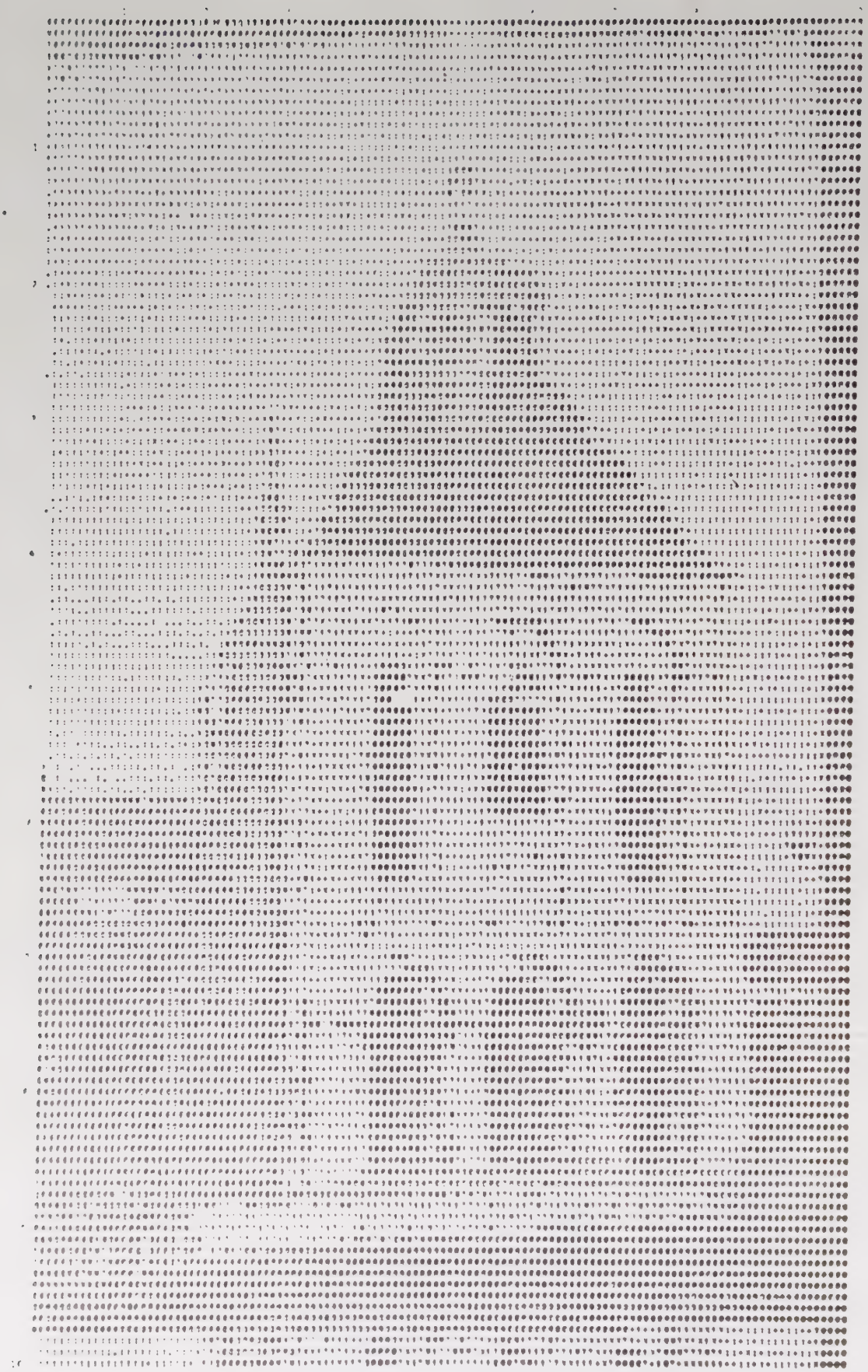


FIGURE 58 : Représentation discrète de la photographie de la figure 57 (essai F). Simulation des niveaux de gris définis par le capteur multiniveaux "2ème version" du R.A.M.I. à partir des surimpressions (10 combinaisons de caractères pour representer 3 niveaux groupés..., ou 4 aux extrémités de l'échelle qui comprend 12 échelons) ; la trame d'analyse de 240 × 360 est ramenée à 120 × 120 par

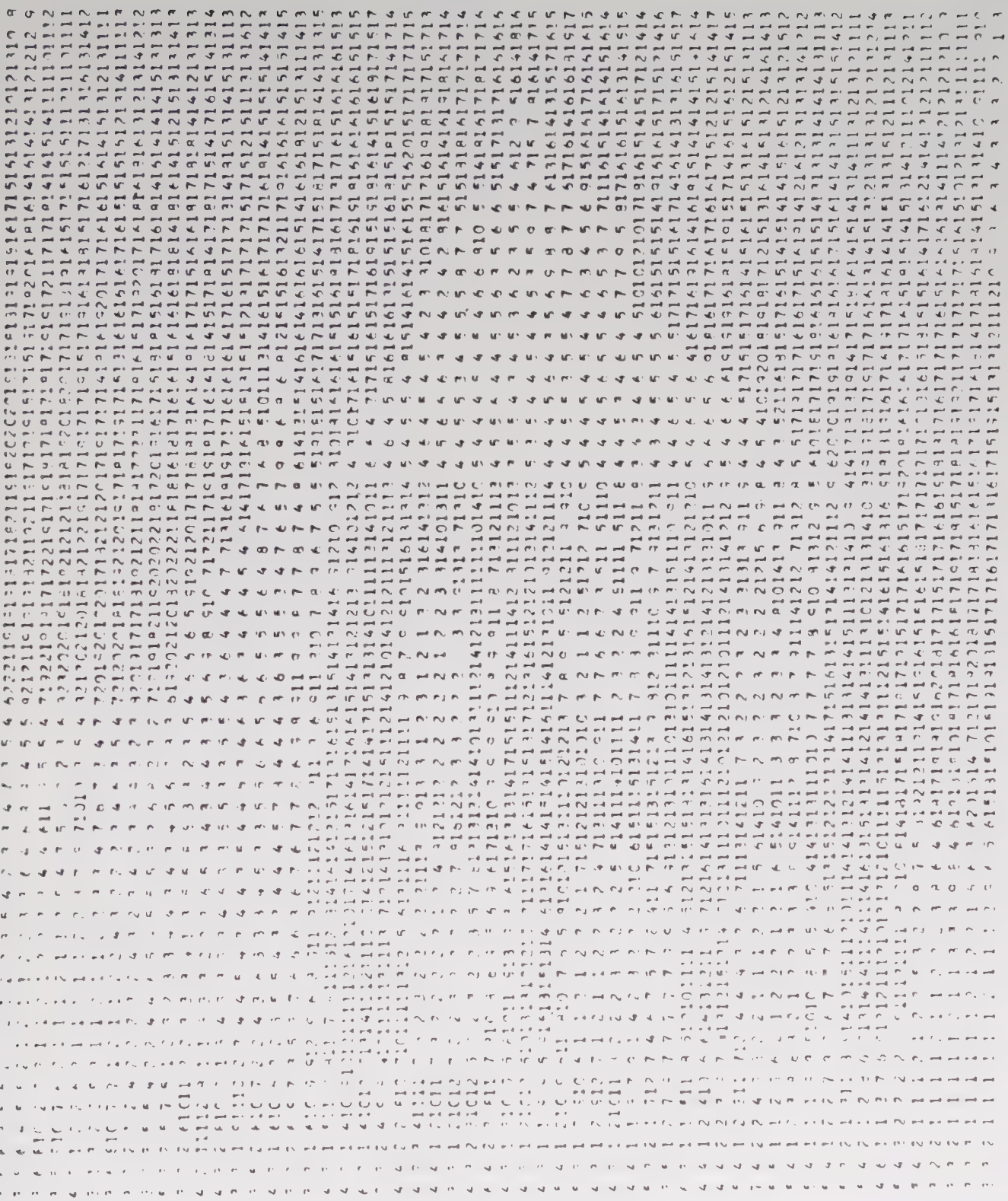


FIGURE 59 : Représentation discrète numérique de la photographie de la figure 57 (essai F) .
La trame de I20 x I20 utilisée pour le traitement a été ramenée à 60 x 60 pour l'impression .
Les niveaux de gris sont repérés sur une échelle de 32 échelons .

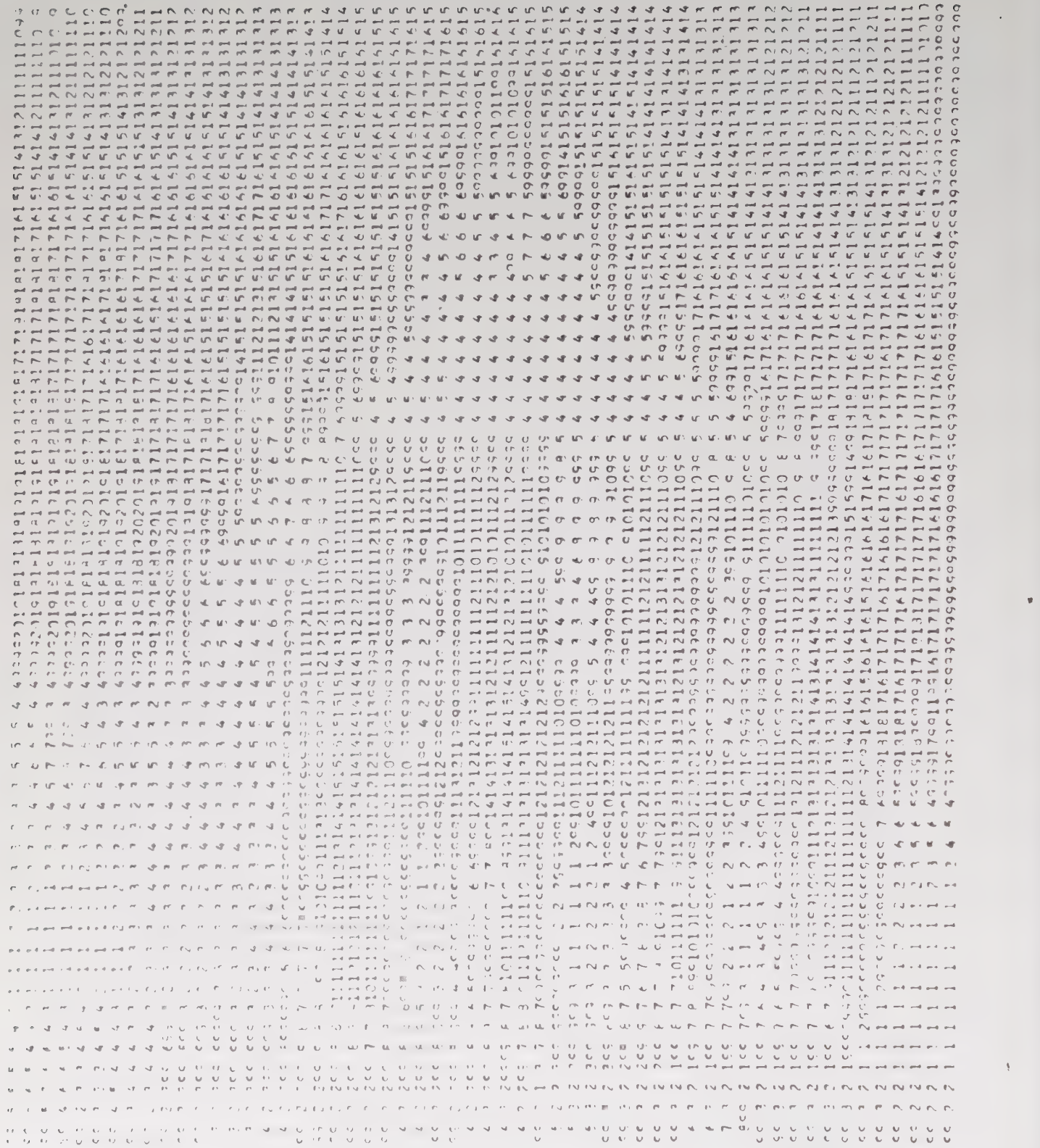


FIGURE 60 : Extraction des contours de la façade de la photographie de la figure 57 (essai F) :
points "99" obtenus par le DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES ;
autres points : niveaux de gris moyens calculés à partir de la représentation discrète de la figure 58 ( trame ramenée à 58 x 50 pour l'impression ) .

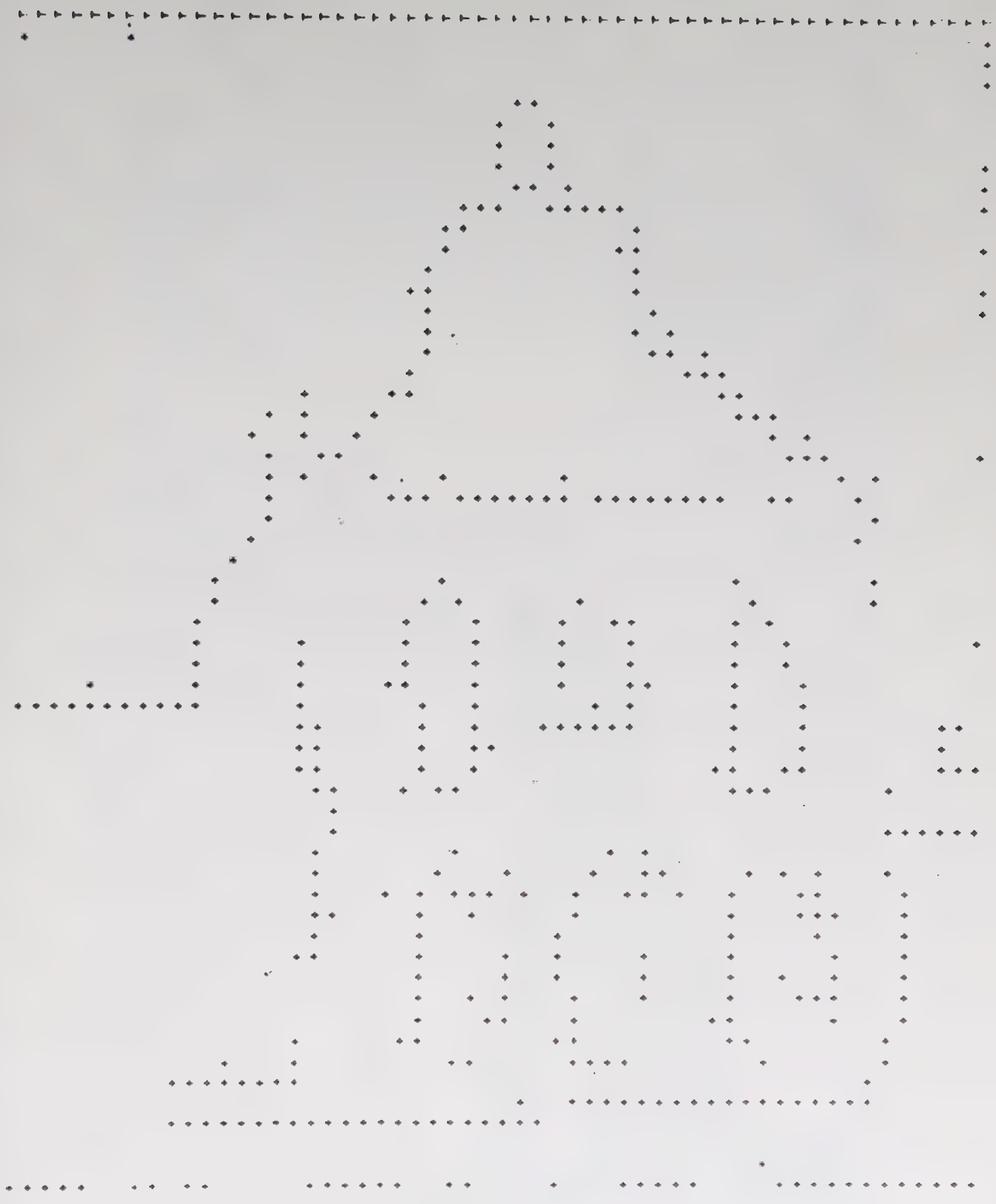


FIGURE 61 : Squelette déduit des résultats de l'extraction de contours présentée à la figure 60 , pour la façade de la photographie de la figure 57 (essai F) . Leur épaisseur de tracé est bien égale à 2 points , verticalement ou horizontalement ,... sur la trame utilisée pour le calcul , bien que cela n'apparaisse pas à l'impression du fait que la définition a été réduite de moitié dans les deux sens (56 x 56 au lieu de 112 x 112 ) .

FIGURE 62 : Diapositive traitée au cours de l'essai F et H .
" chien en bronze du parc de St. Cloud " .
La numérisation a été effectuée à l'aide du capteur multi-niveaux " 2ème version " du R.A.M.I. .

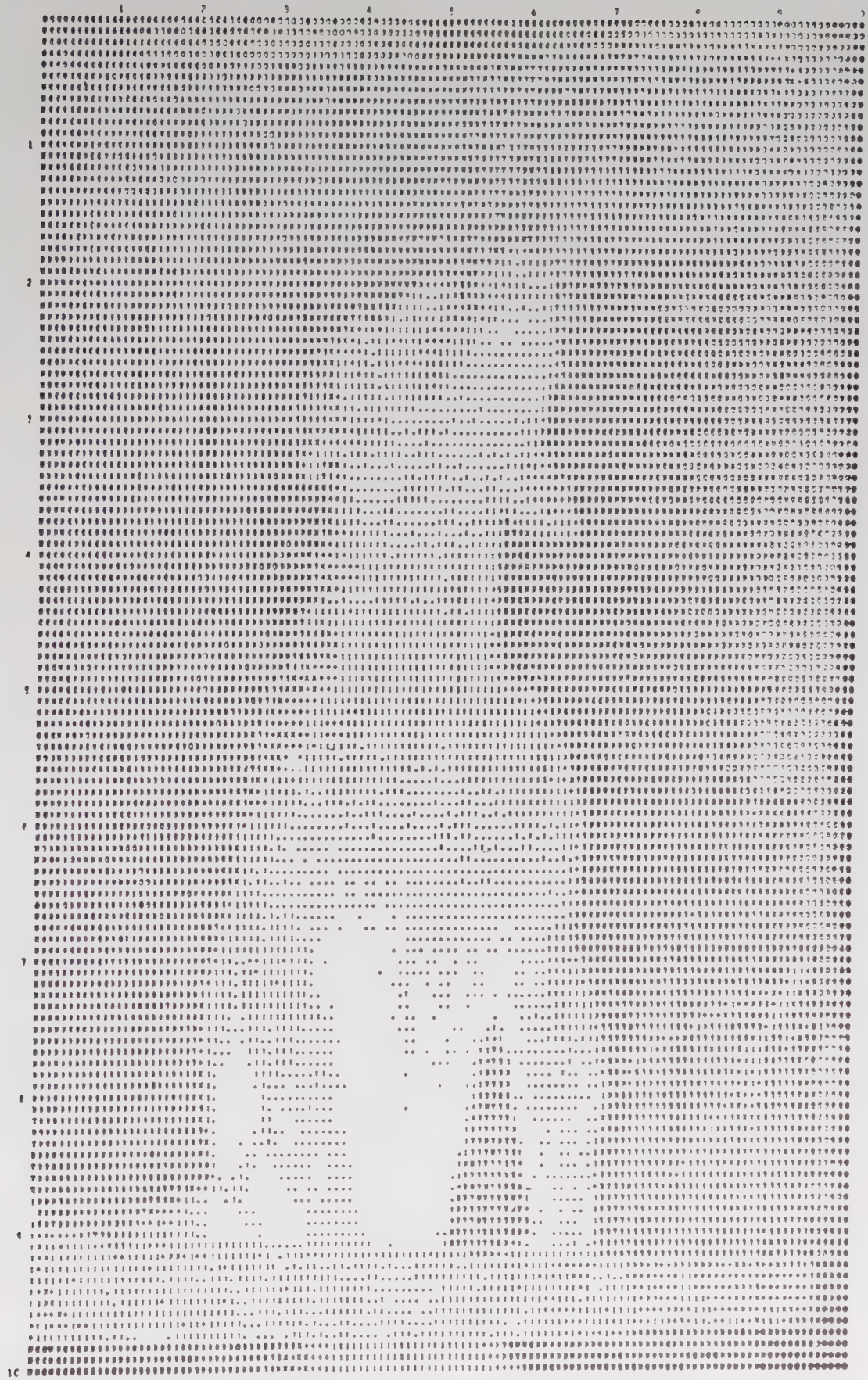


FIGURE 63 : Représentation discrète de la photographie de la figure 62 (essai F) Simulation des niveaux de gris définis par le capteur multiniveaux "2ème version" du R.A.M.I. à partir des surimpressions (10 combinaisons de caractères pour représenter 3 niveaux groupés..., ou 4 aux extremités de l'échelle qui comprend 32 échelons) : la trame d'analyse de 240 × 360 est ramenée à 120 × 120 par sauts de lignes et de colonnes

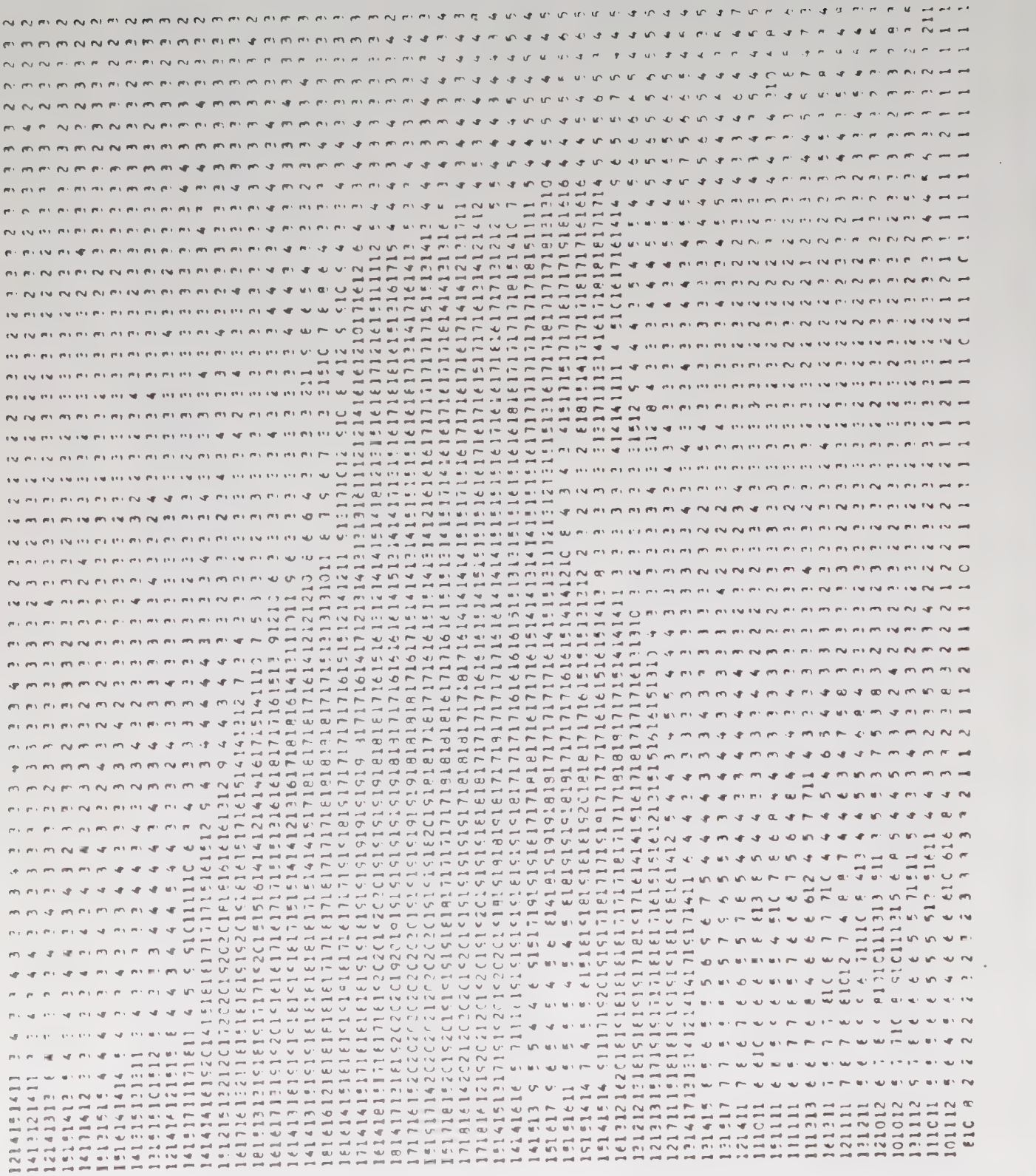


FIGURE 64 : Représentation discrète numérique de la photographie de la figure 62 (essai F).
La trame de 120 x 120 utilisée pour le traitement a été ramenée à 60 x 60 pour l'impression.
Les niveaux de gris sont repérés sur une échelle de 32 échelons.

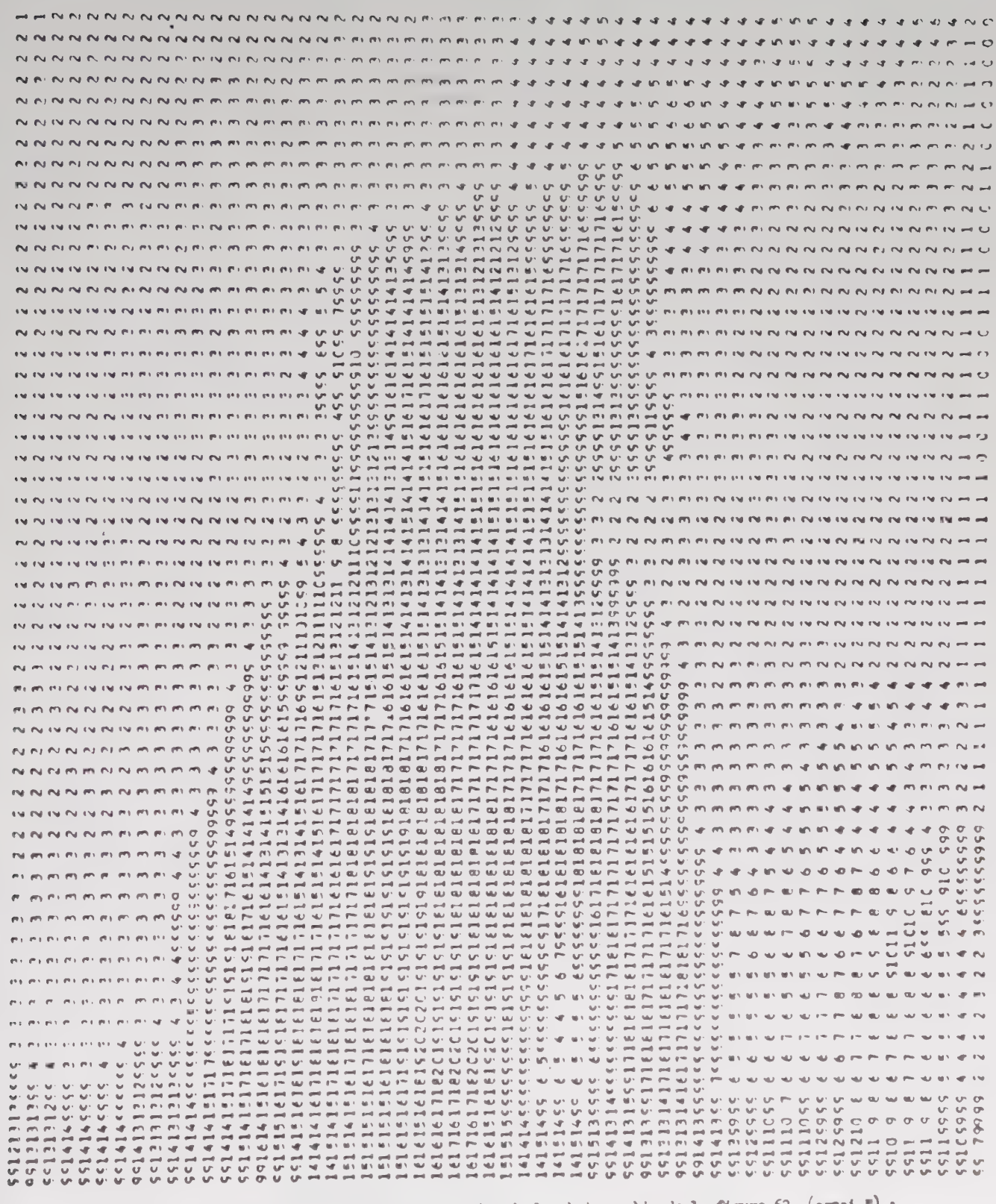


FIGURE 65 : Extraction des contours de la statue de la photographie de la figure 62 (essai F) :
points "99"obtenus par le DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES ;
autres points : niveaux de gris moyens calculés à partir de la représentation discrète de la figure 63 ( trame ramenée à 58 x 58 pour l'impression ) .

FIGURE 66 : Squelette déduit des résultats de l'extraction de contours présentée à la figure 65 , pour la statue de la photographie de la figure 62 (essai F) . Leur épaisseur de tracé est bien égale à 2 points , verticalement ou horizontalement ,... sur la trame utilisée pour le calcul , bien que cela n'apparaisse pas à l'impression du fait que la définition a été réduite de moitié dans les deux sens (56 x 56 au lieu de 112 x 112) .

FIGURE 67 : Diapositive traitée au cours de l'essai F, G et H :
" clocher à Sully-sur-Loire " .
La numérisation a été effectuée à l'aide du capteur multi-niveaux " 2ème version " du R.A.M.I. .

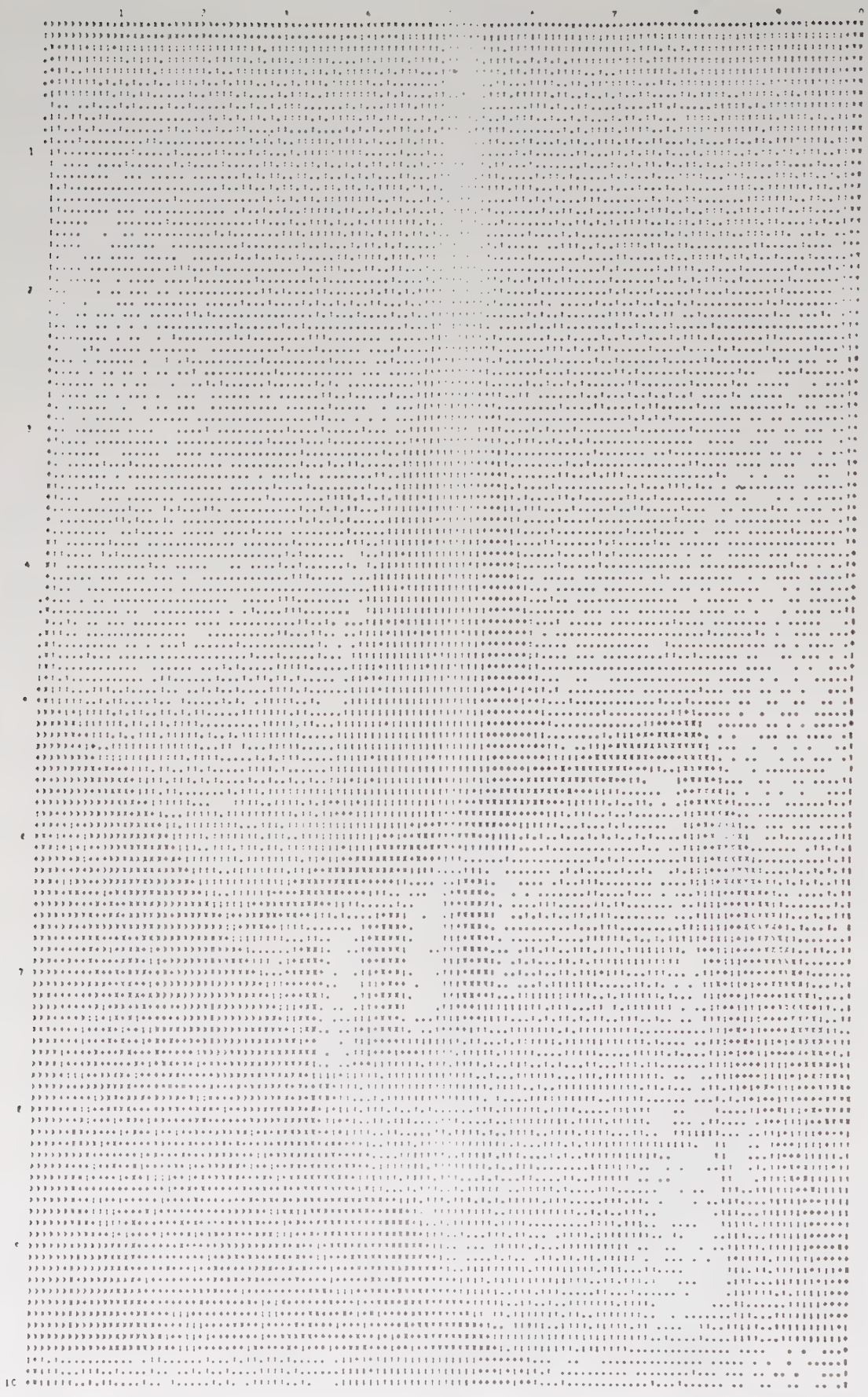


FIGURE 68 Representation discrete de la photographie de la figure 67 (essai F) Simulation des niveaux de gris définis par le capteur multiniveaux "2ème version" du R.A.M.I a partir des surimpressions (10 combinaisons de caractères pour representer 3 niveaux groupés ou 4 aux extrémités de l échelle qui comprend 32 echelons) la trame d'analyse de 240 × 360 est ramenee à 120 × 120 par sauts de lignes et de colonnes

FIGURE 69 : Représentation discrète numerique de la photographie de la figure 67 (essai F) . La trame de 120 × 120 est utilisée pour le traitement a été ramenée à 60 × 60 pour l'impression . Les niveaux de gris sont repérés sur une échelle de 32 échelons . Symétrie gauche-droite vis-à-vis de la photographie

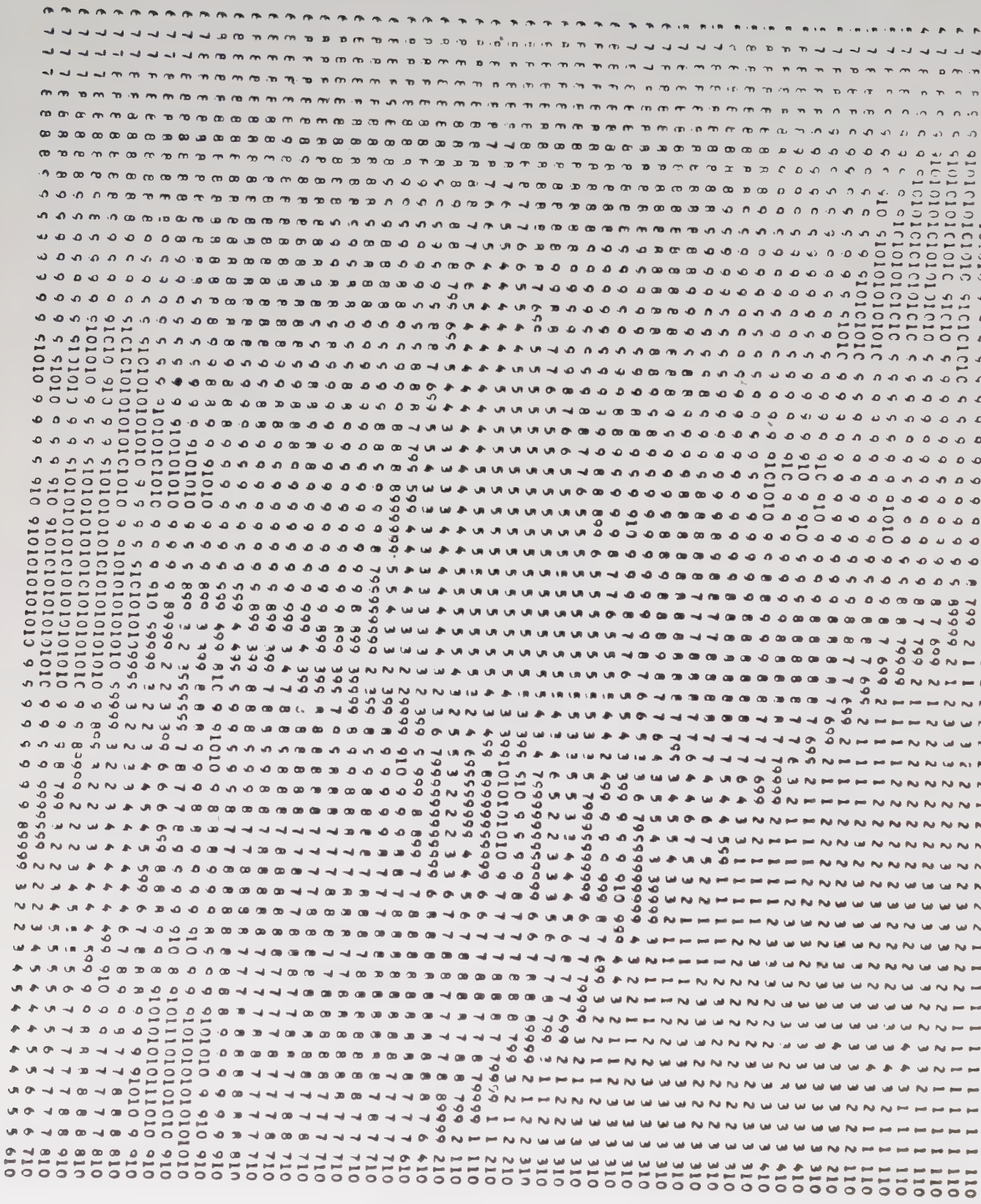


FIGURE 70 : Extraction des contours architecturaux de la photographie de la figure 67 (essai F)

points "99" obtenus par le DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES ,

autres points : niveaux de gris moyens calculés à partir de la représentation discrète de la figure 68 (trame ramenée à 58 × 58 pour l'impression)

Symétrie gauche-droite vis-à-vis de la photographie

FIGURE 71 : Squelette déduit des résultats de l'extraction des contours présentés à la figure 70, pour les éléments architecturaux de la photographie de la figure 67 (essai F) . Leur épaisseur de tracé est bien égale à 2 points, verticalement ou horizontalement,... sur la trame utilisée pour le calcul, bien que cela n'apparaisse pas à l'impression du fait que la définition a été réduite de moitié dans les deux sens (56 × 56 au lieu de 112 × 112) . Symétrie gauche-droite vis-à-vis de la photographie .

FIGURE 72 : Ecrêtage des niveaux de gris vers le blanc pour la photographie de la figure 67 (ensemble F) : les valeurs de la figure 69 supérieures à 7 sont remplacées par la valeur 31 affectée au blanc .

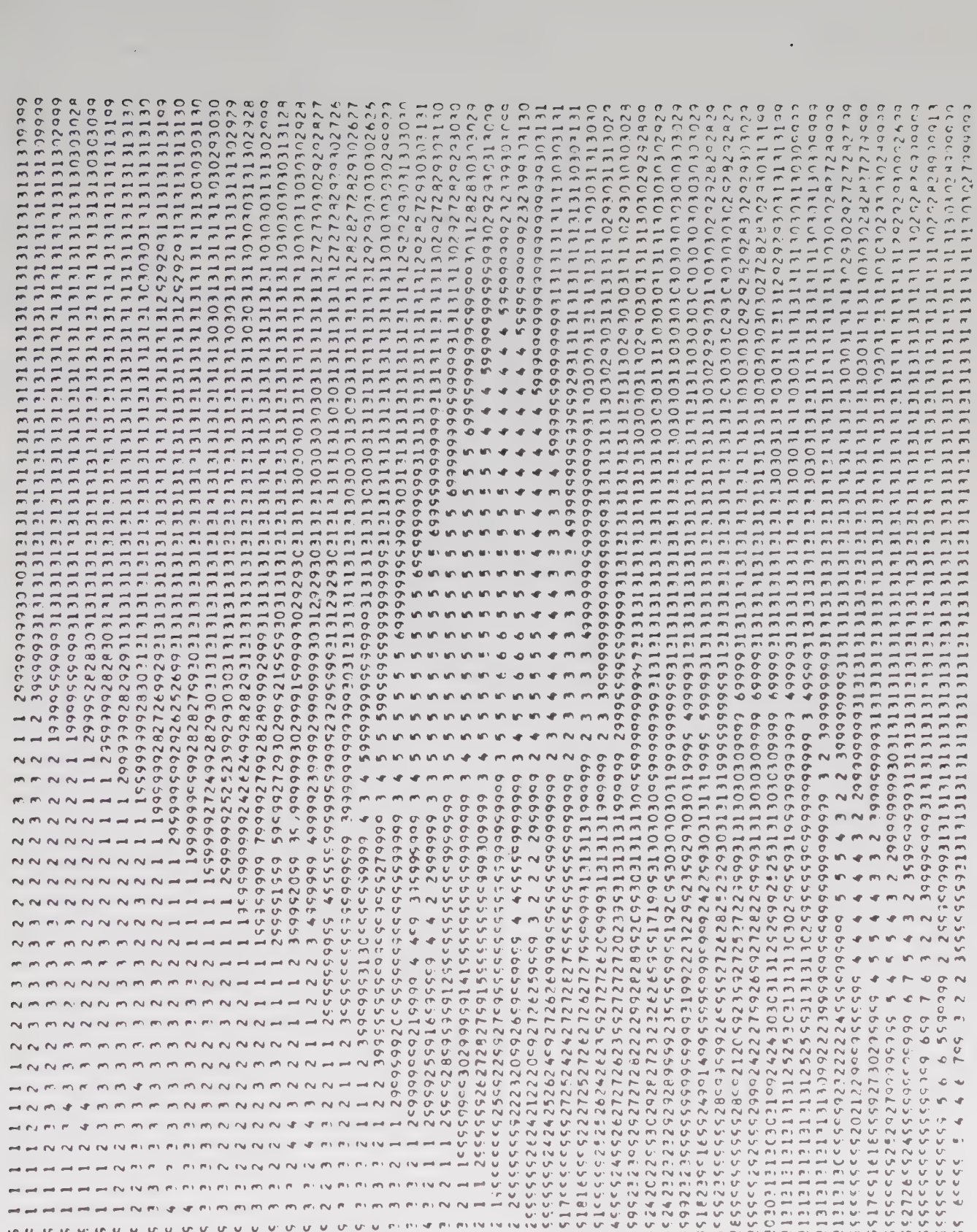
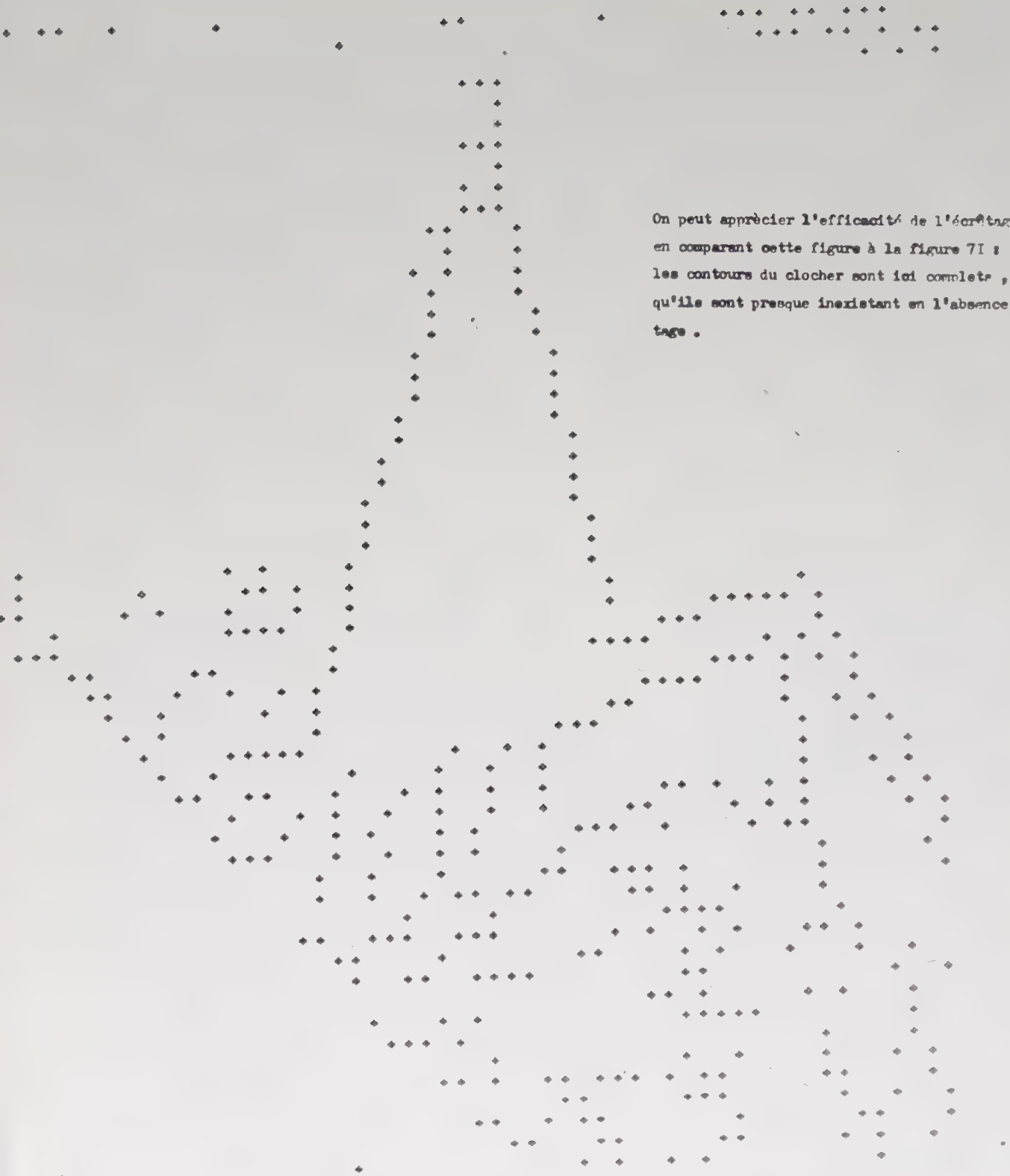


FIGURE 73 : Extraction des contours architecturaux de la photographie de la figure 67 (essai n°) ; lorsque la représentation discrète a subi l'écrêtage dont le résultat est présenté à la figure 72 : points "99" obtenus par le DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES ; autres points : niveaux de gris moyens calculés à partir de la représentation discrète de la figure 72 ( trame ramenée à 58 x 50 pour l'impression ) .



On peut apprècier l'efficacité de l'écrêtage choisi en comparant cette figure à la figure 7I : les contours du clocher sont ici complets , alors qu'ils sont presque inexistant en l'absence d'écrêtage .

FIGURE 74 : Squelette déduit des résultats de l'extraction des contours , après écrêtage de la représentation discrète , tels qui sont présentés à la figure 73 pour les éléments architecturaux de la photographie de la figure 67 (essai F) . Leur épaisseur de tracé est bien égale à 2 points , verticalement ou horizontalement ,... sur la trame utilisée pour le calcul , bien quecela n'apparaisse pas à l'impression du fait que la définition a été réduite de moitié dans les deux sens ( 56 x 56 au lieu de II2 x II2 ) .

CNRS

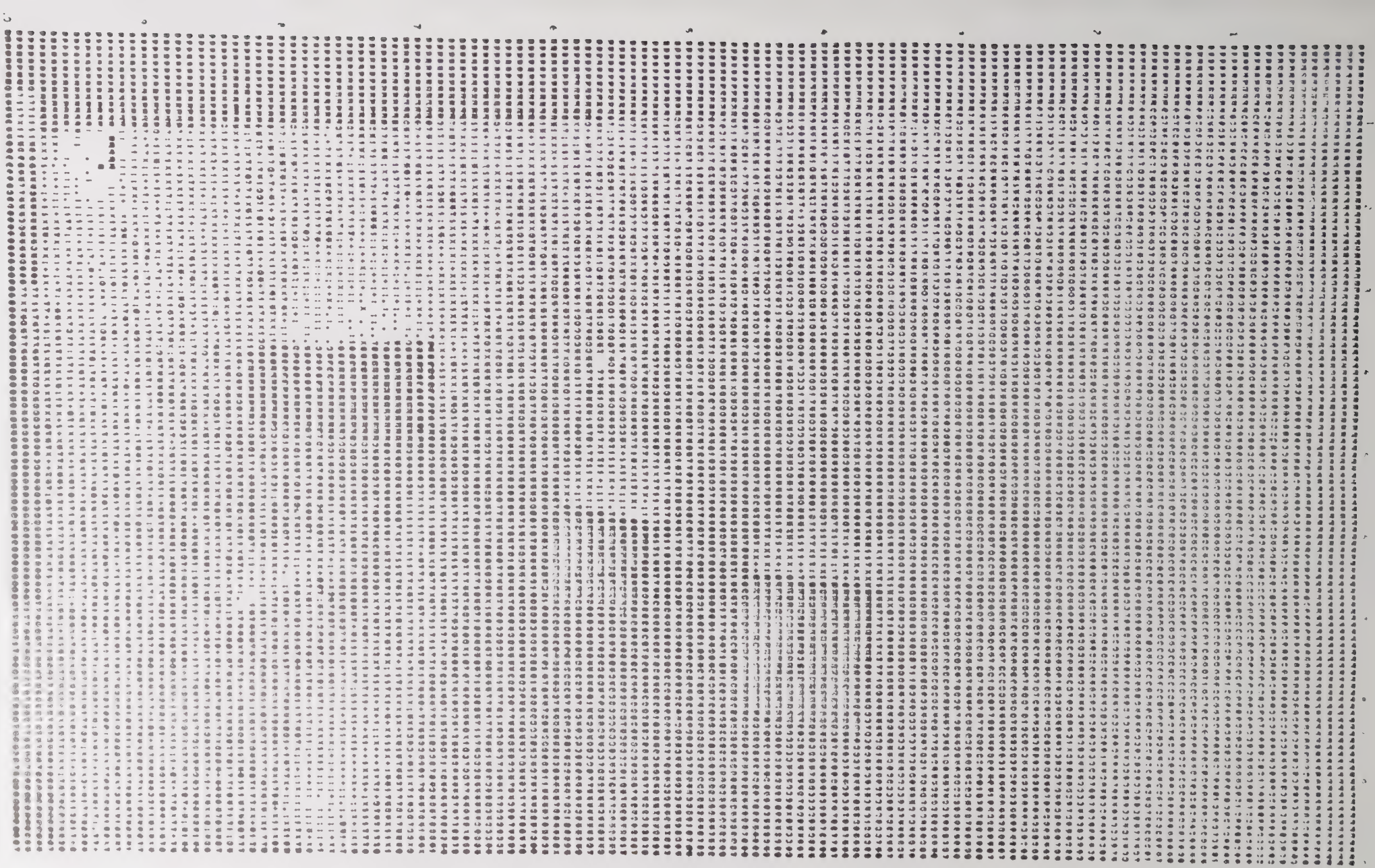




FIGURE 75 : Représentation discrète de la photographie de la figure 34 (essai G)
Simulation des niveaux de gris définis par le capteur multiniveaux "2ème version" du R.A.M.I.,
à partir des surimpressions (10 combinaisons de caractères pour représenter 3 niveaux groupés....
ou 4 aux extrémités de l'échelle qui comprend 32 échelons);- la trame d'analyse de 240 × 360

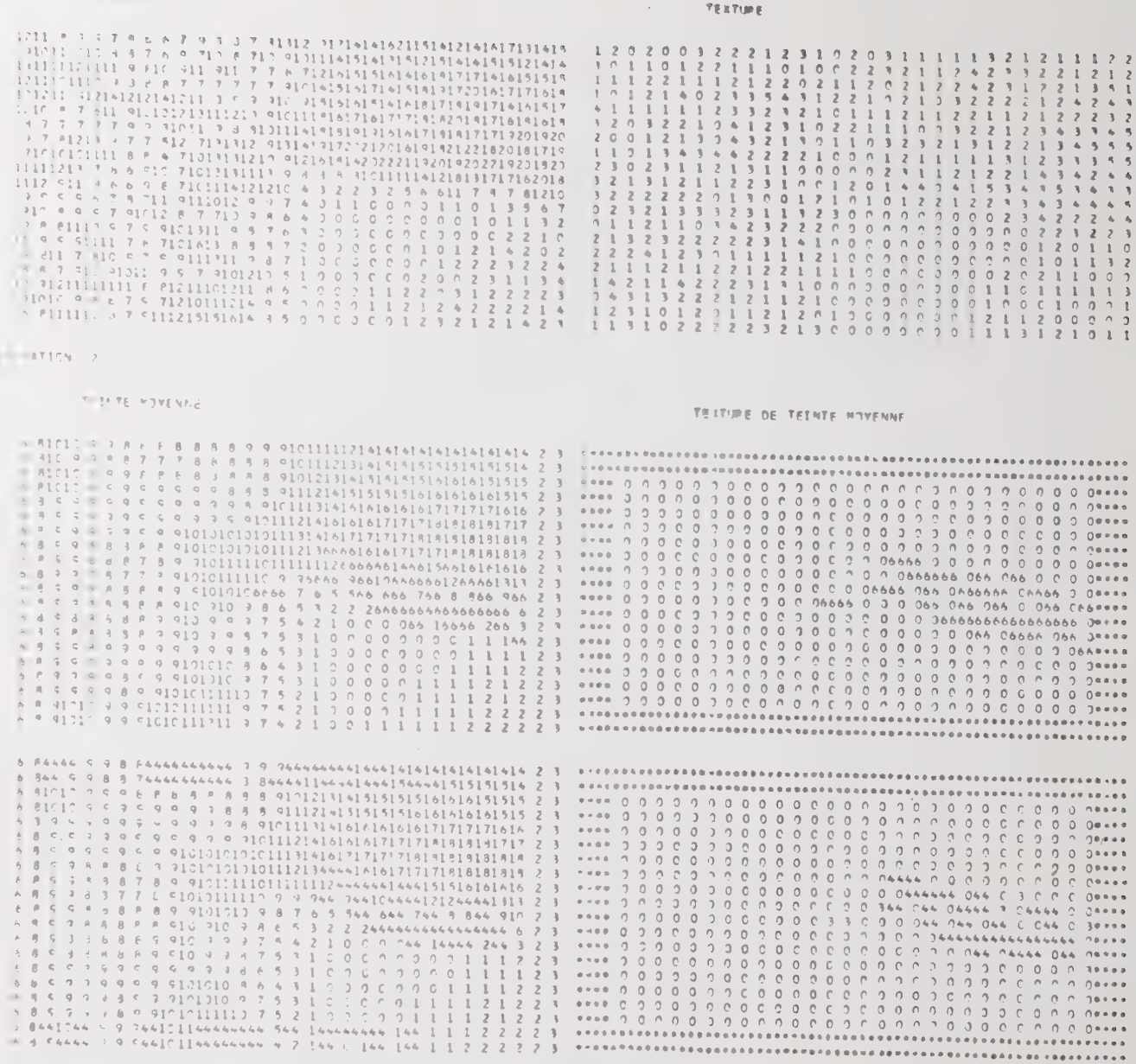



FIGURE 76 : Points de contours "66" obtenus par le DETECTEUR DE BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES dans l'ombre du paquet de gitanes, sur la case( **7** , 5 ) de la représentation discrète de la figure 75. (Les points "44" s'en déduisent par squelettisation) ( Essai G)

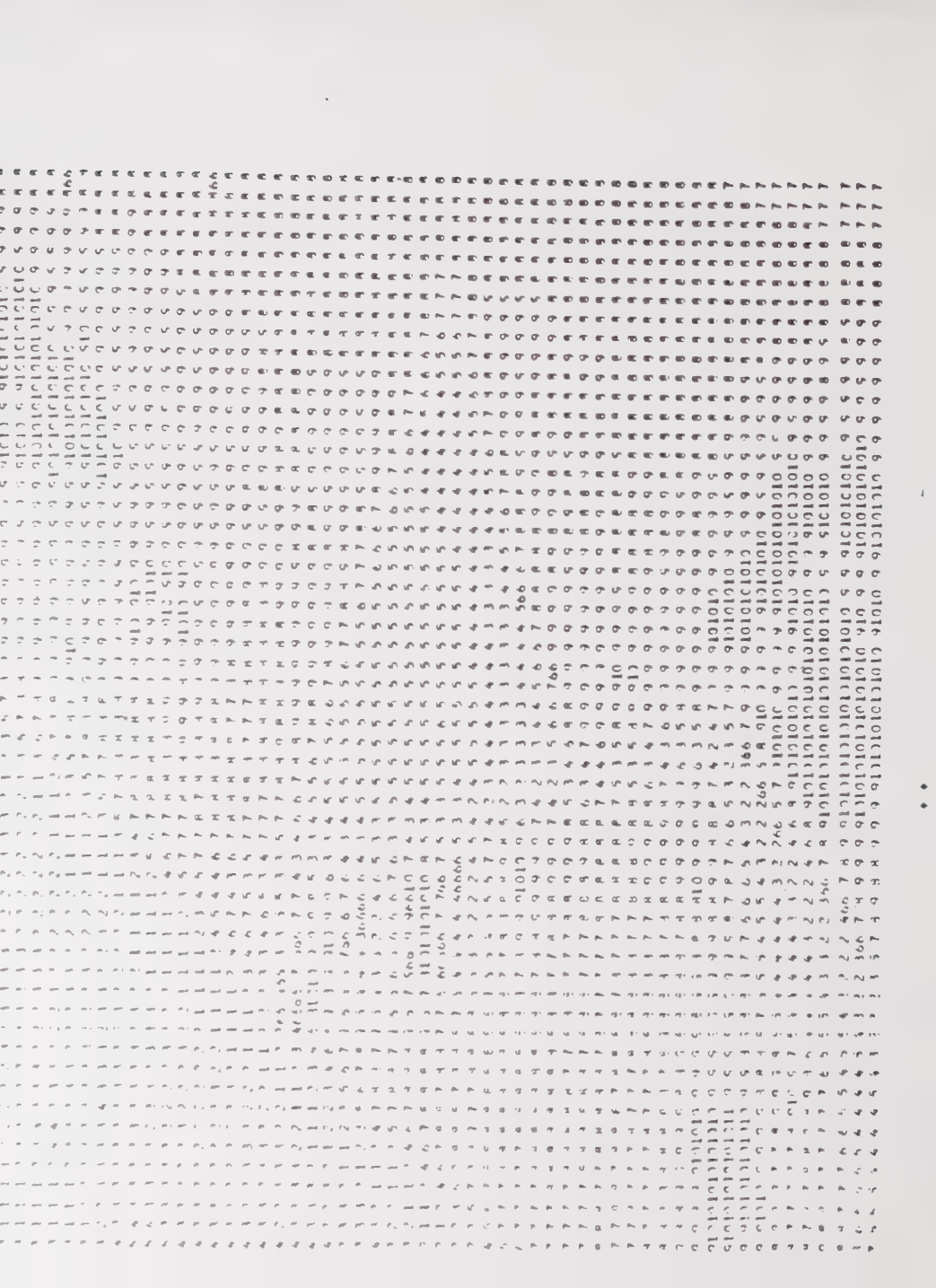


FIGURE 77 : Points de contours obtenus par le DETECTEUR DE BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES dans l'ombre des ogives du clocher représenté sur la photographie de la figure67 :
- a droite : " + ";
- à gauche : " 66 " .
autres points à gauche : niveaux de gris moyen calculés à partir de la représentation discrète de la figure 68 (trame ramenée à 58 × 58 pour l'impression et symétrie gauche-droite vis-à-vis de la photographie .

FIGURE 78 : Niveaux de sorties des ganglionnaires supposés reparties, selon la trame 240 × 360 réduite à 120 × 120 pour l'impression..., sur la représentation discrète (figure 53) de la photographie de la figure 52 . Ces niveaux sont simulés sur différents caractères selon le principe adopté pour la représentation discrète initiale . (essai H)

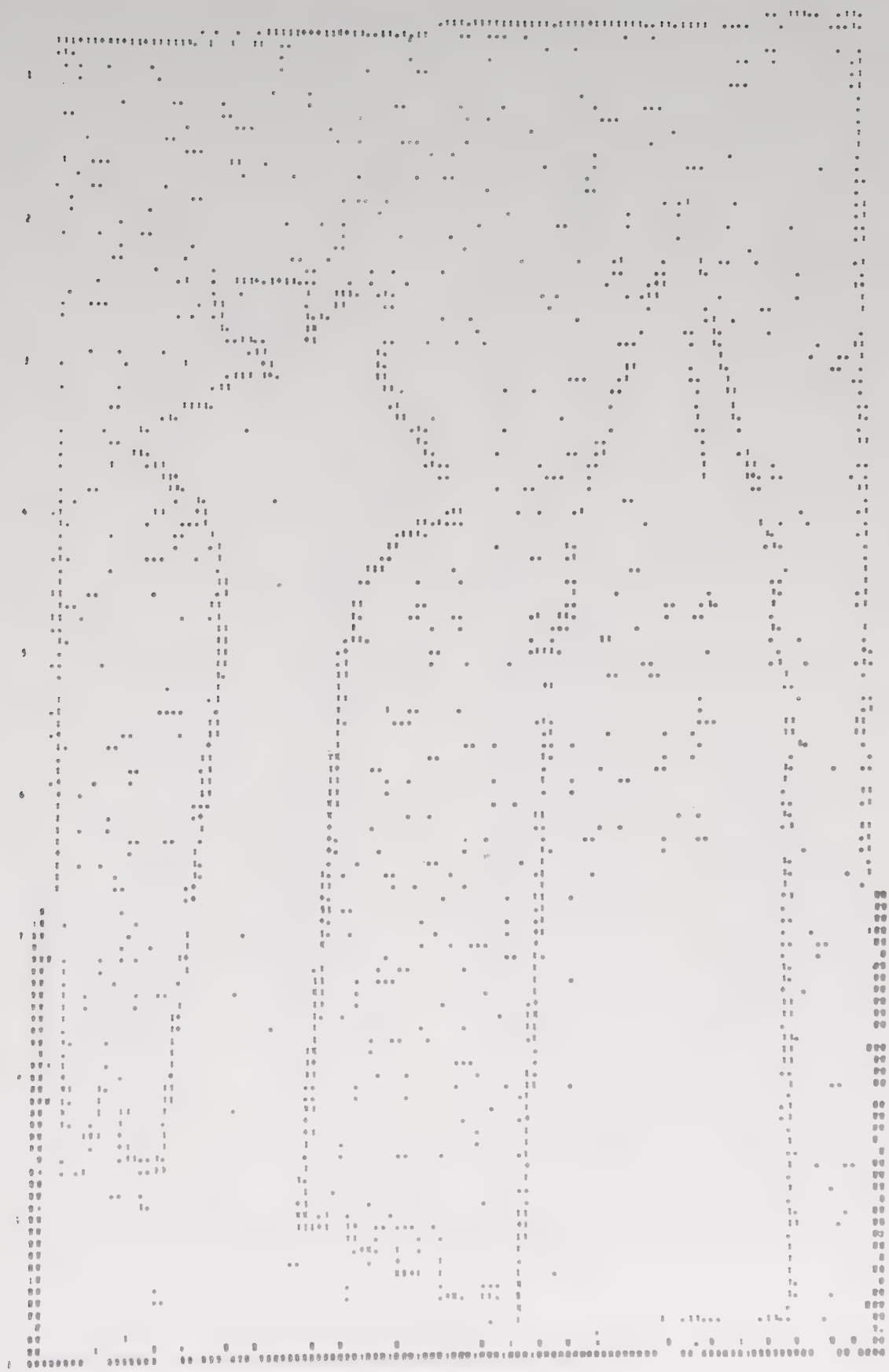


FIGURE 79 : Niveaux de sorties des CELLULES DU CORPS GENOUILLE supposees réparties, selon la trame 236 × 356 réduite à 118 × 118 pour l'impression.... sur les sorties des ganglionnaires (figure 78), au cours du traitement de la photographie de la figure 52 . ( essai H)

FIGURE 80 : Détection locale de la direction de la tangente aux contours, obtenus par comparaison des niveaux de sorties de 16 CELLULES A CHAMP RECEPTIF "SIMPLE" DU CORTEX supposées associées, selon la trame 232 × 352 réduite à 116 × 116 pour l'impression., aux sorties des cellules du corps genouillé (figure 79 ), au cours du traitement de la photographie de la figure 52 . (essai H)

codage des 16 directions :

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Angle π/2 + ... | & 0 | & | π/16 | & | 2π/16 | & | 3π/16 | & | 4π/16 | & | 5π/16 | & | 6π/16 | & | 7π/16 | & |
| | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| Code | & 1 | & | 2 | & | 3 | & | 4 | & | 5 | & | 6 | & | 7 | & | 8 | & |
| | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| Angle π + ... | & 0 | & | π/16 | & | 2π/16 | & | 3π/16 | & | 4π/16 | & | 5π/16 | & | 6π/16 | & | 7π/16 | & |
| | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| Code | & 9 | & | 0 | & | A | & | B | & | C | & | D | & | E | & | F | & |
| | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |

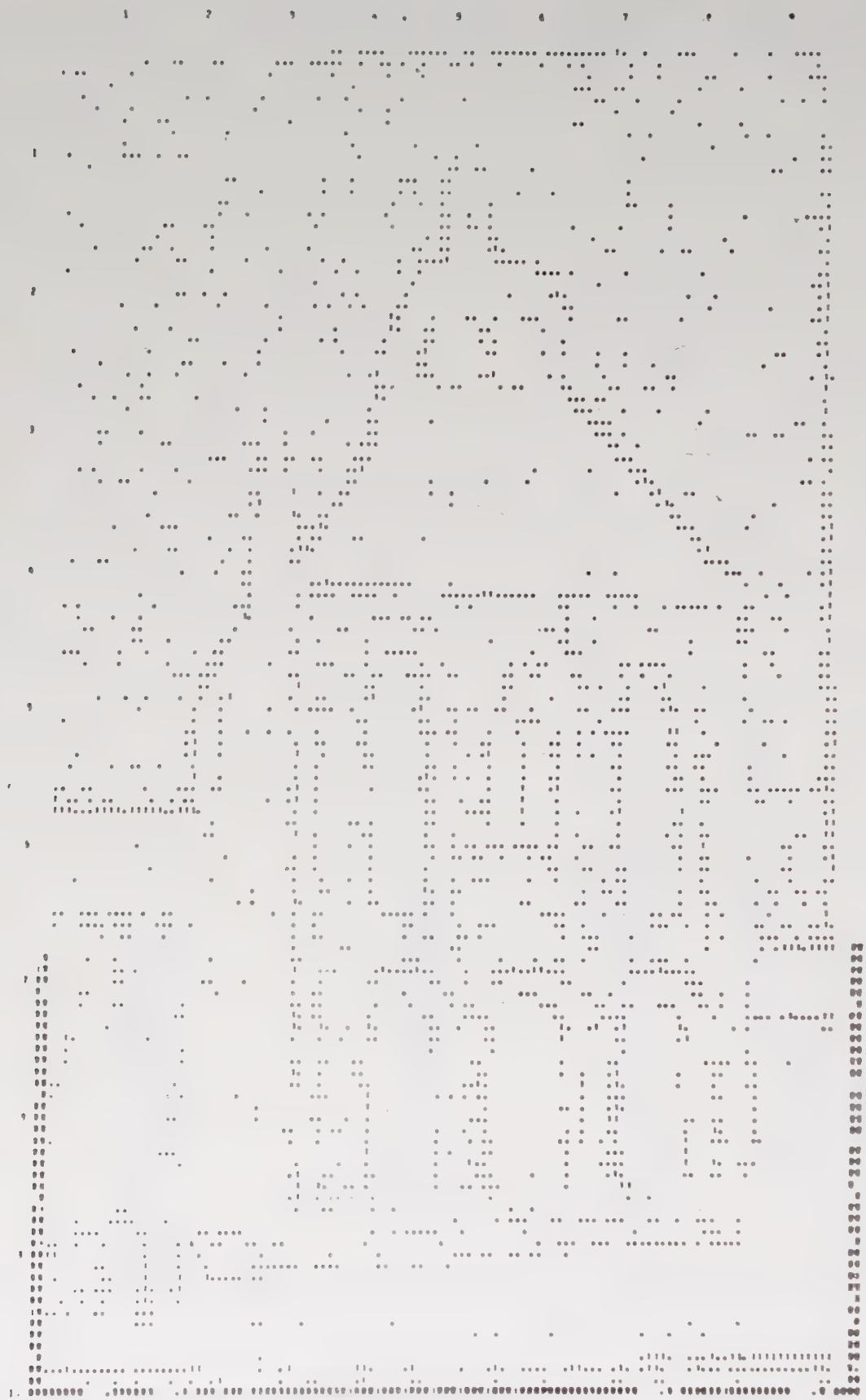


FIGURE 81 : Niveaux de sorties des GANGLIONNAIRES supposées réparties, selon la trame 240 × 360 reduite a 120 × 120 pour l'impression... sur la représentation discrète (figure 58) de la photographie de la figure 57 . Ces niveaux sont simulés par différents caracteres selon le principe adopte pour la représentation discrète initiale . (essai H)

FIGURE 82 Niveaux de sorties des CELLULES DU CORPS GENOUILLE supposees réparties, selon la trame 236 × 356 réduite à 118 · 118 pour l'impression , sur les sorties des ganglionnaires (figure 81), au cours du traitement de la photographie de la figure 57 (essai H)

FIGURE 83 : Détection locale de la direction de la tangente aux contours, obtenus par comparaison des niveaux de sorties de 16 CELLULES A CHAMP RECEPTIF "SIMPLE" DU CORTEX supposées associées, selon la trame 232 × 352 réduite à 116 × 116 pour l'impression, aux sorties des cellules du corps genouillé (figure 82), au cours du traitement de la photographie de la figure 57. (essai H)

codage des 16 directions :

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Angle | π/2 + ... | & 0 | & | π/16 | & | 2π/16 | & | 3π/16 | & | 4π/16 | & | 5π/16 | & | 6π/16 | & | 7π/16 | & |
| | | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| | | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| Code | | & I | & | 2 | & | 3 | & | 4 | & | 5 | & | 6 | & | 7 | & | 8 | & |
| | | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| Angle | π + ... | & 0 | & | π/16 | & | 2π/16 | & | 3π/16 | & | 4π/16 | & | 5π/16 | & | 6π/16 | & | 7π/16 | & |
| | | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| | | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| Code | | & 9 | & | 0 | & | A | & | B | & | C | & | D | & | E | & | F | & |
| | | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |

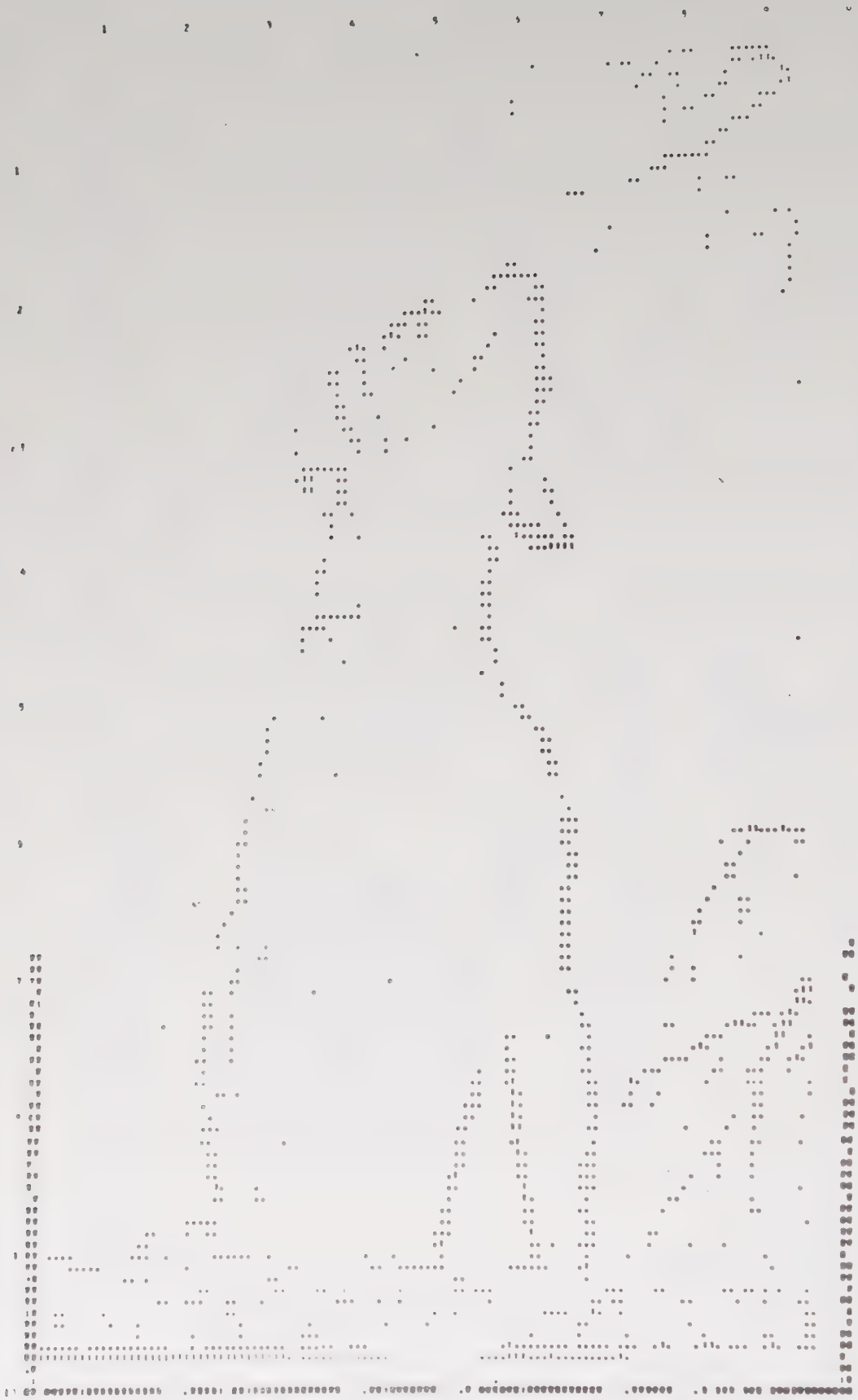


FIGURE 84 : Niveaux de sorties des GANGLIONNAIRES supposées réparties selon la trame 240 × 360 reduite a 120 × 120 pour l'impression.... sur la représentation discrete (figure 63) de la photographie de la figure 62 . Ces niveaux sont simulés par différents caractères selon le principe adopté pour la représentation discrete initiale . (essai H)

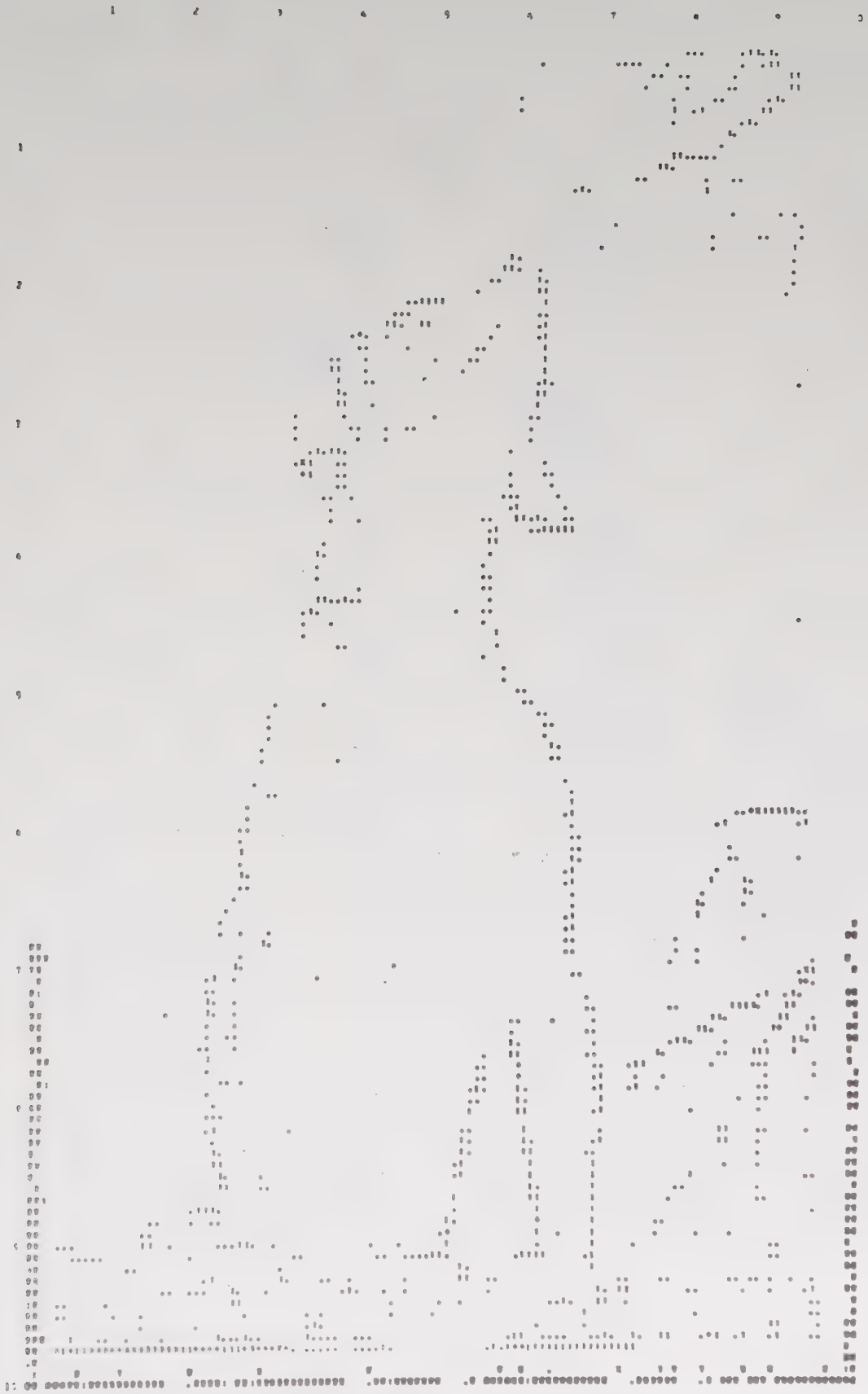
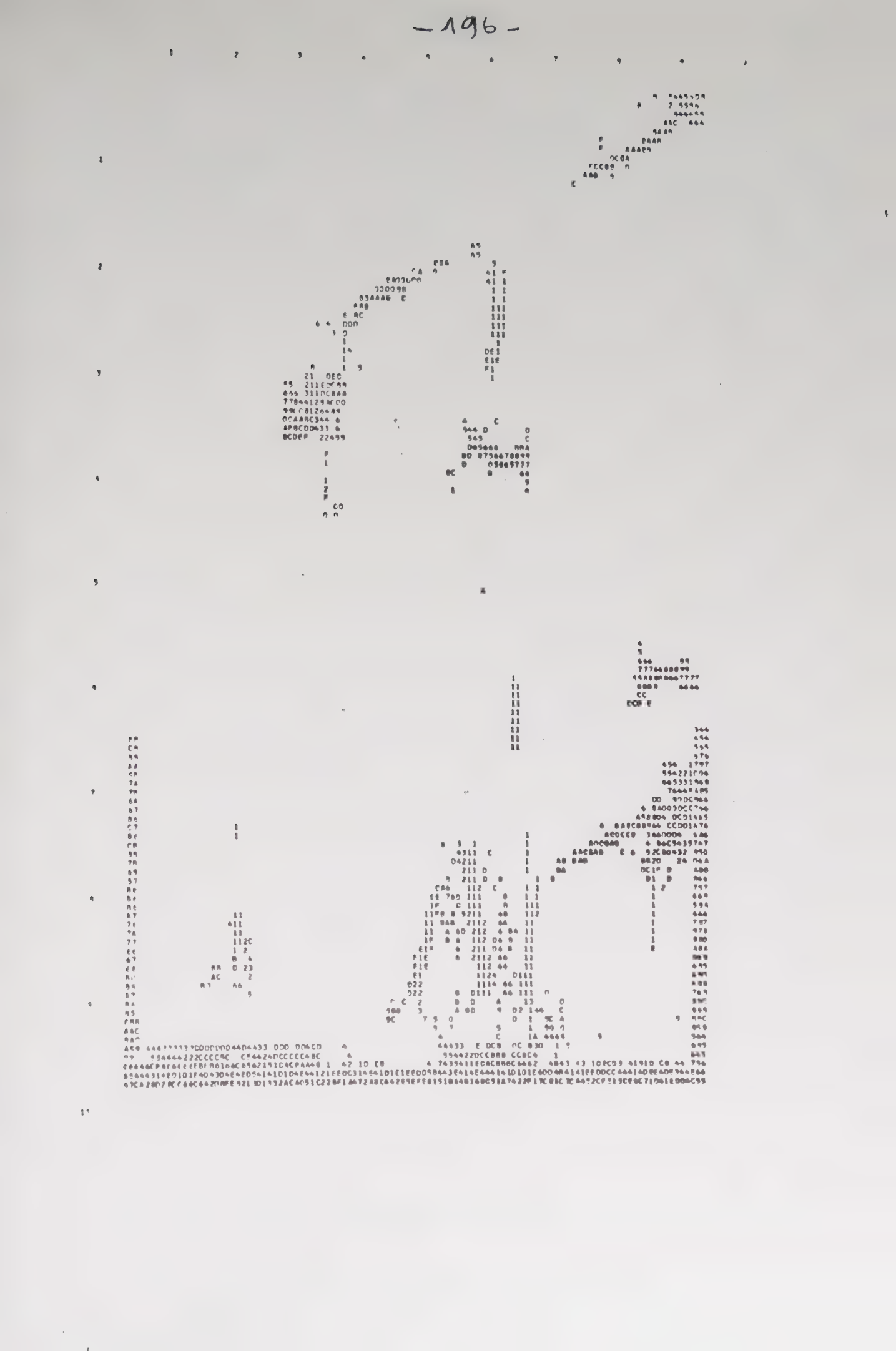


FIGURE 85 : Niveaux de sorties des CELLULES DU CORPS GENOUILLE supposées réparties, selon la trame 236 × 356 réduite à 118 × 118 pour l'impression..., sur les sorties des ganglionnaires (figure 84), au cours du traitement de la photographie de la figure 62 . (essai H)

FIGURE 86 : Détection locale de la direction de la tangente aux contours, obtenus par comparaison des niveaux de sorties de 16 CELLULES A CHAMP RECEPTIF "SIMPLE" DU CORTEX supposées associées, selon la trame 232 × 352 réduite à 116 × 116 pour l'impression..., aux sorties des cellules du corps genouillé (figure 85) , au cours du traitement de la photographie de la figure 62 . (essai H)

codage des 16 directions :

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Angle π/2 + ... | & 0 | & | π/16 | & | 2π/16 | & | 3π/16 | & | 4π/16 | & | 5π/16 | & | 6π/16 | & | 7π/16 | & |
| | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| Code | & 1 | & | 2 | & | 3 | & | 4 | & | 5 | & | 6 | & | 7 | & | 8 | & |
| | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| Angle π + ... | & 0 | & | π/16 | & | 2π/16 | & | 3π/16 | & | 4π/16 | & | 5π/16 | & | 6π/16 | & | 7π/16 | & |
| | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |
| Code | & 9 | & | 0 | & | A | & | B | & | C | & | D | & | E | & | F | & |
| | & | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & | | & |



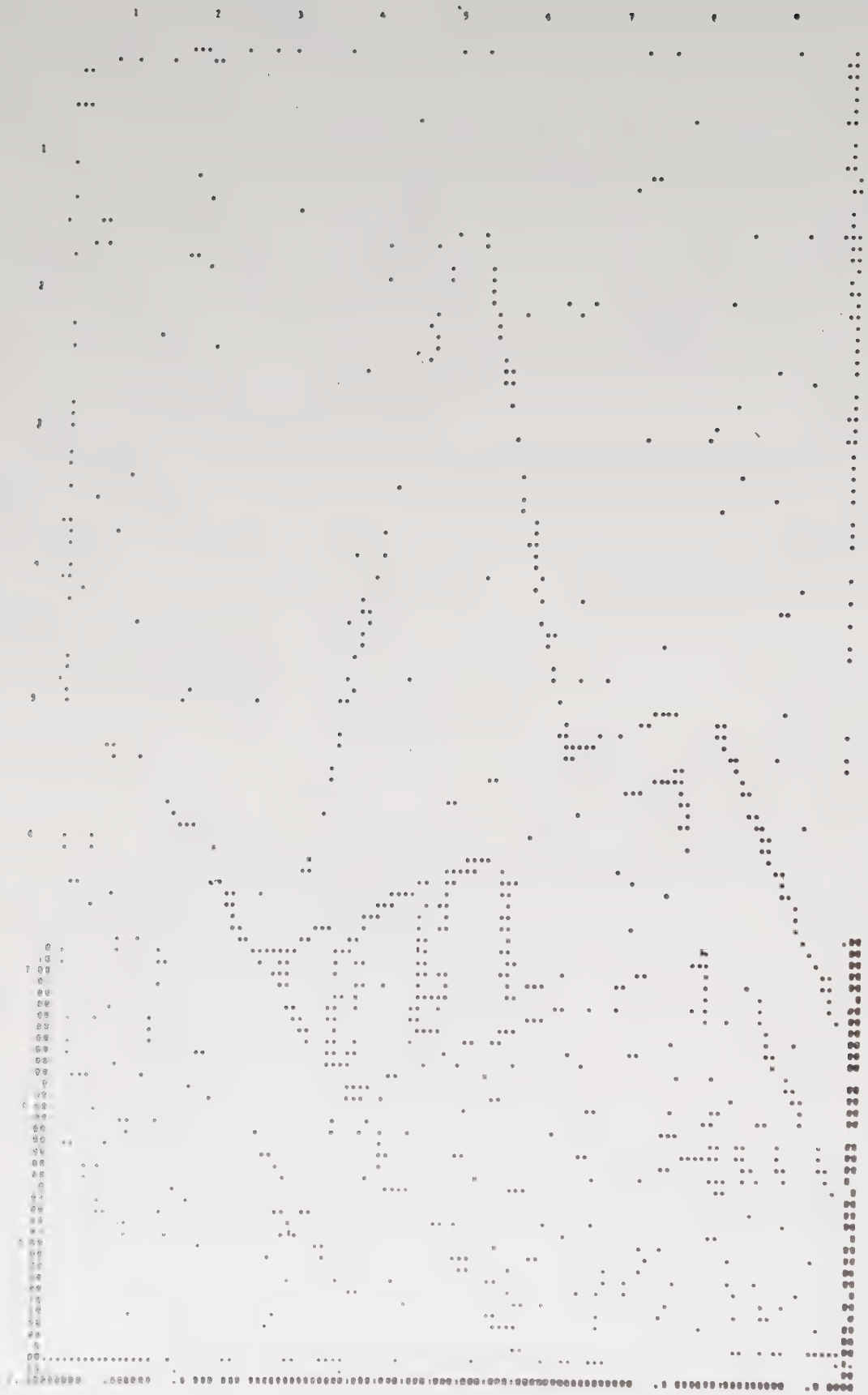


FIGURE 87 : Niveaux de sorties des GANGLIONNAIRES supposées réparties selon la trame 240 × 360 réduite à 120 × 120 pour l'impression..., sur la représentation discrète (figure 68) de la photographie de la figure 67 . Ces niveaux sont simulés par différents caractères selon le principe adopté pour la représen-

FIGURE 88 : Niveaux de sorties des CELLULES DU CORPS GENOUILLE supposées répartie, selon la trame 236 × 356 réduite à 118 × 118 pour l'impression..., sur les sorties des ganglionnaires (figure87), au cours du traitement de la photographie de la figure 67 . (essai H)

FIGURE 89 : Détection locale de la direction de la tangente aux contours, obtenus par comparaison des niveaux de sorties de 16 CELLULES A CHAMP RECEPTIF "SIMPLE" DU CORTEX supposées associées, selon la trame 232 × 352 réduite à 116 × 116 pour l'impression..., aux sorties des cellules du corps genouillé (figure 88), au cours du traitement de la photographie de la figure 67. (essai H)

codage des 16 directions :

| | | |

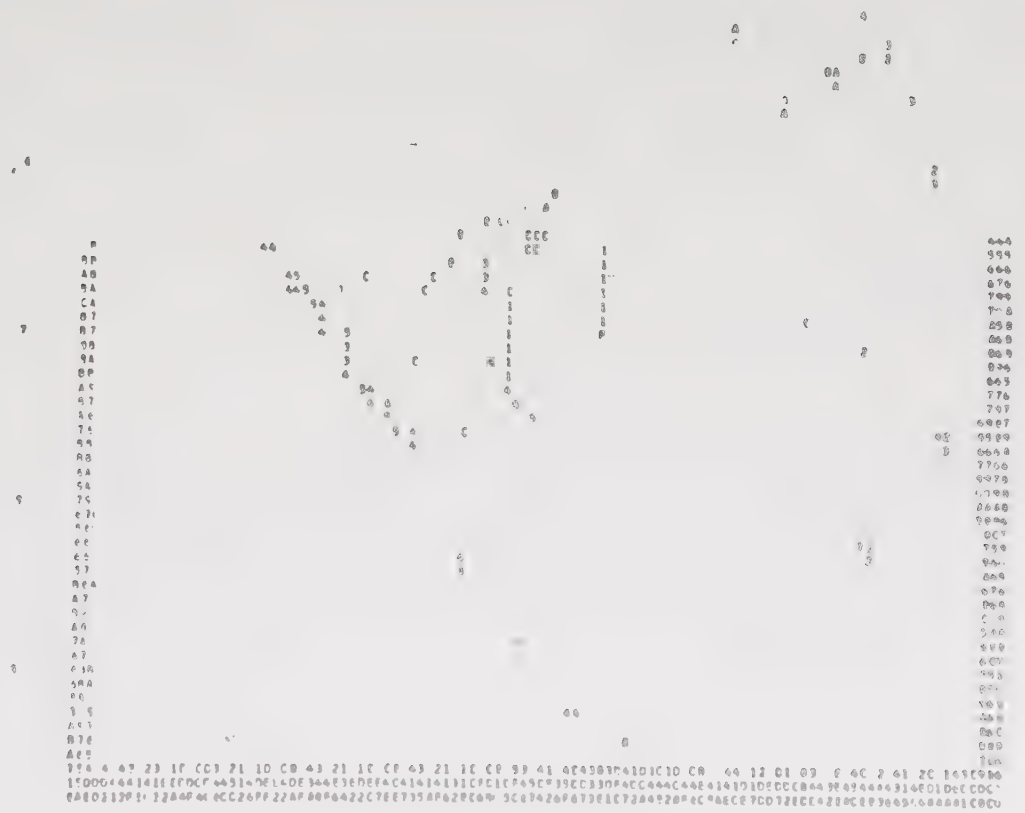


FIGURE 90 : Principe d'approximation des contours par une chaîne de segments , d'après une idée du Professeur René DE POSSEL .

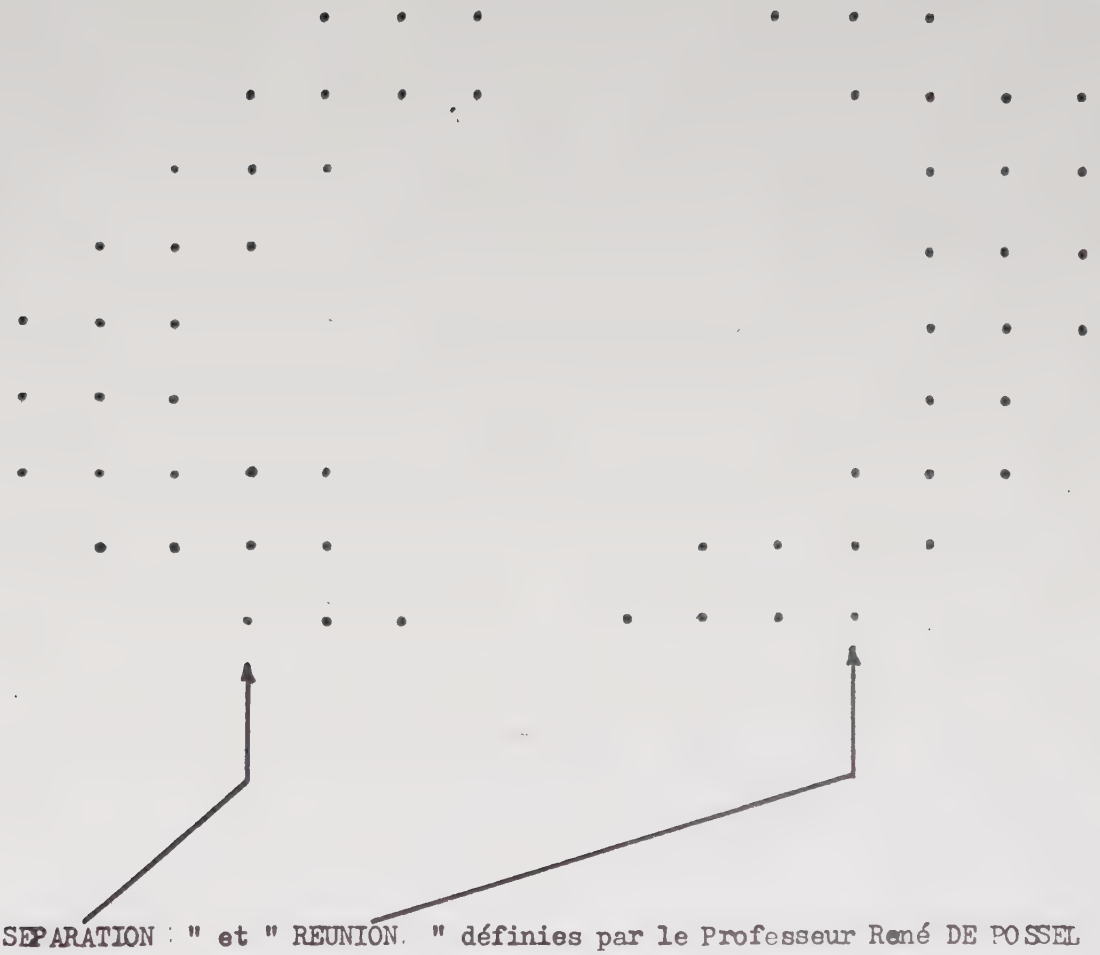


FIGURE 9I : " SEPARATION " et " REUNION " définies par le Professeur René DE POSSEL , à prop
de la lecture automatique extensive de caractères imprimés [I - C - 5] , [I - C - 6] et [I -

MENU SEGMENTS

* INITIALISER
* TOURNER
* ALLONGER
* RACCOURCIR

MENU DESSIN

* TRANSFERER
* MODIFIER
* EFFACER

***IMAGE NUMERO 1 ***

FIGURE 92 : Principe utilisé pour les tracés effectués au photostyle sur l'écran du 2250 I B
Le vecteur dont l'origine est au centre de l'écran est ajusté en amplitude et direction par pointage de l'un des 4 ordres du " menu segment " : INITIALISER (vecteur unité horizontal ver la droite) , TOURNER (rotation de 5° en sens inverse des aiguilles d'une montre) , ALLONGER (allongement de IO unités) , RACCOURCIR (diminution de longueur d'une unité) .
En pointant l'un des 3 ordres du " menu dessin " , on peut TRANSFERER le vecteur sur le dessi ( origine choisie par un pointage initial utilisant la trame de "x" prévue par le système 225 ou placée à l'extrémité du dernier vecteur transféré sur le dessin ) , MODIFIER le dessin en effaçant le dernier vecteur tranfèré sur le dessin ou EFFACER tout le dessin .

IMAGE NUMERO 1

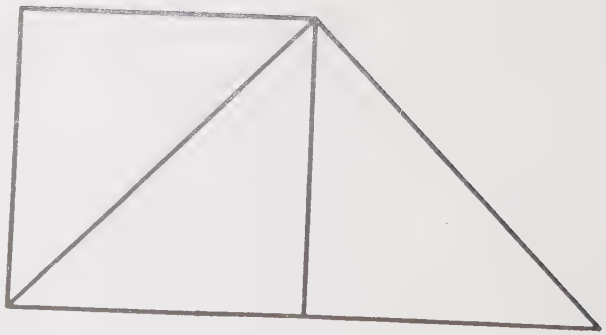




FIGURE 93 : Tracé géométrique effectué au photostyle sur console 2250 I B M .
( copie de l'écran par traceur BENSON )

```
TRIANGLE NO  1 DE COTES  1  2  5 LE TRIANGLE NO  1 EST RECTANGLE
TRIANGLE NO  2 DE COTES  2  3  6 LE TRIANGLE NO  2 EST RECTANGLE
TRIANGLE NO  3 DE COTES  2  4  6 LE TRIANGLE NO  3 EST RECTANGLE
TRIANGLE NO  4 DE COTES  3  4  8 LE TRIANGLE NO  4 EST RECTANGLE
QUADRI NO  1 DE COTES  1  5  3  6 LE TRIANGLE NO  1 EST ISOCELE
QUADRI NO  2 DE COTES  1  5  4  6 LE TRIANGLE NO  2 EST ISOCELE
                                  LE TRIANGLE NO  3 EST ISOCELE
                                  LE TRIANGLE NO  4 EST ISOCELE
                              LE QUADRILATERE  1 EST UN PARALLELOGRAMME
                                 LE QUADRILATERE  1 EST UN LOSANGE
                                 LE QUADRILATERE  1 EST UN RECTANGLE
                                 LE QUADRILATERE  1 EST UN CARRE

                                 IMAGE NUMERO 1
```

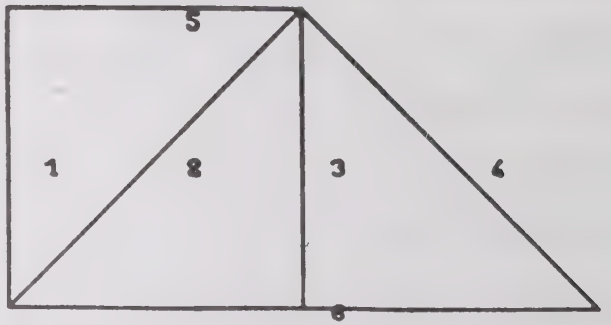





FIGURE 04 : Résultats du programme d'extraction des éléments géométriques appliqué au tracé de la figure 03 .

FIGURE 95 : Histogramme de niveaux de gris relevé sur une case de 24 x 36 points appartenant à représentation discrète d'une photographie d'asphalte prise à I mètre environ (essai destiné à l'élaboration d'un procédé d'identification des matières) .

FIGURE 96 : Histogramme de textures relevé sur une case de 20 x 32 points appartenant à la re
sentation discrète d'une photographie d'asphalte prise à I mètre environ (essai destiné à l'é
ration d'un procèdé d'identification des matières) .

FIGURE 97 : Histogramme de niveaux de gris relevé sur une case de 24 x 36 points appartenant à la représentation discrète d'une photographie de sable mélangé à des cailloux prise à I mètre environ (essai destiné à l'élaboration d'un procèdé d'identification des matières) .

FIGURE 68 : Histogramme de textures relevé sur une case de 20 x 32 points appartenant à la représentation discrète d'une photographie de sable mélangé à des cailloux prise à 1 mètre environ sai destiné à l'élaboration d'un procédé d'identification des matières) .

FIGURE 99 : Histogramme de niveaux de gris relevé sur une case de 24 x 36 points appartenant à la représentation discrète d'une photographie d'herbe prise à I mètre environ (essai destiné à l'élaboration d'un procédé d'identification des matières).

FIGURE 100 : Histogramme de textures relevé sur une case de 20 x 32 points appartenant à la rep
sentation discrète d'une photographie d'herbe prise à I mètre environ (essai destiné à l'élabo
tion d'un procèdé d'identification des matières) .

FIGURE IOI : Histogramme de niveaux de gris relevé sur une case de 24 x 36 points appartenant à la représentation discrète d'une photographie d'un mur de moellons prise à IO mètres environ (essai destiné à l'élaboration d'un procèdé d'identification des matières) .

FIGURE IO2: Histogramme de textures relevé sur une case de 20 x 32 points appartenant à la représentation discrète d'une photographie d'un mur de moellons prise à IO mètres environ (essai destiné à l'élaboration d'un procédé d'identification des matières) .

Figure I03 : Histogramme de niveaux de gris relevé sur une case de 24 x 36 points appartenant à la représentation discrète d'une photographie d'un mur de briques prise à I0 mètres environ (essai destiné à l'élaboration d'un procédé d'identification des matières) .

FIGURE I04: Histogramme de textures relevé sur une case de 20 x 32 points appartenant à la représentation discrète d'une photographie d'un mur de briques prise à I0 mètres environ (essai destiné à l'élaboration d'un procèdé d'identification des matières).

FIGURE 105 : Histogramme de niveaux de gris relevé sur une case de 24 x 36 points appartenant à la représentation discrète d'une photographie d'un toit de tuiles incliné, prise à une distance approximativement comprise entre 20 et 30 mètres (essai destiné à l'élaboration d'un procédé d'identification des matières).

FIGURE 106 : Histogramme de textures relevé sur une case de 20 x 32 points appartenant à la représentation discrète d'une photographie d'un toit de tuiles incliné prise à une distance approximativement comprise entre 20 et 30 mètres (essai destiné à l'élaboration d'un procédé d'identification des matières) .

FIGURE 107 : Histogramme de niveaux de gris relevé sur une case de 24 x 36 points appartenant à la représentation discrète d'une photographie d'un toit d'ardoises incliné prise à une distance approximativement comprise entre 20 et 30 mètres (essai destiné à l'élaboration d'un procédé d'identification des matières) .

FIGURE IOP: Histogramme de textures relevé sur une case de 20 x 32 points appartenant à la représentation discrète d'une photographie d'un toit d'ardoises incliné prise à uneddistance approximativement comprise entre 20 et 30 mètres (essai destiné à l'élaboration d'un procèdé d'identification des matières) .

FIGURE IO9 : Histogramme de niveaux de gris relevé sur une case de 24 x 36 points appartenant à la représentation discrète d'une photographie d'une haie prise à IO mètres environ (essai destiné à l'élaboration d'un procèdé d'identification des matières) .

FIGURE II0: Histogramme de textures relevé sur une case de 20 x 32 points appartenant à la représentation discrète d'une photographie d'une haie prise à I0 mètres environ (essai destiné à l'élaboration d'un procèdé d'identification des matières) .

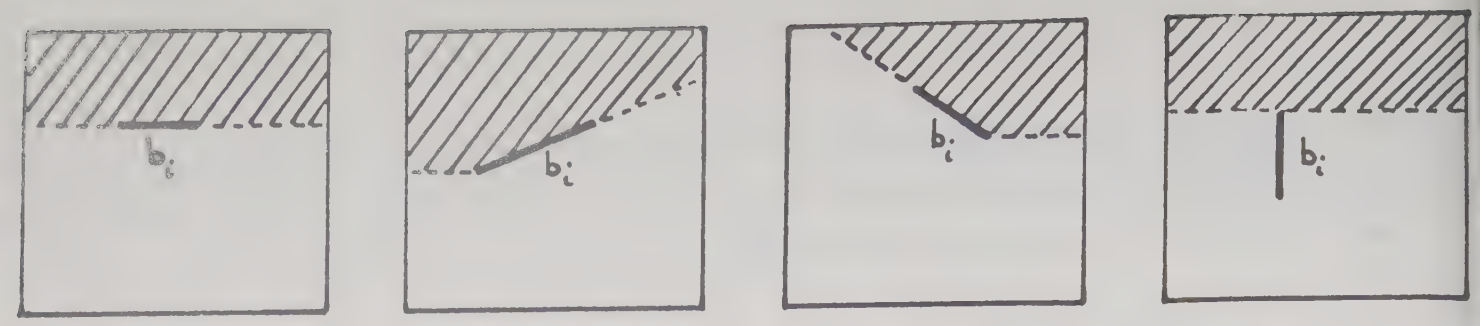



FIGURE III : (a.SUR.b) : l'élément a est jugé , par définition , comme étant sur l'élément b lorsque , vis à vis de chaque côté $b_i$ de b ( ou b lui-même , s'il sagit d'un segment ) , les sommets de l'élément a se trouvent dans l'une des zônes hachurées de cette figure ( selon la pente de $b_i$ ) .

Les décisions correspondant respectivement à : (a.DROITE.b) , (a.SOUS.b) et (a.GAUCHE.b) se déduisent de celle-ci par des rotations de la figure de 90º .

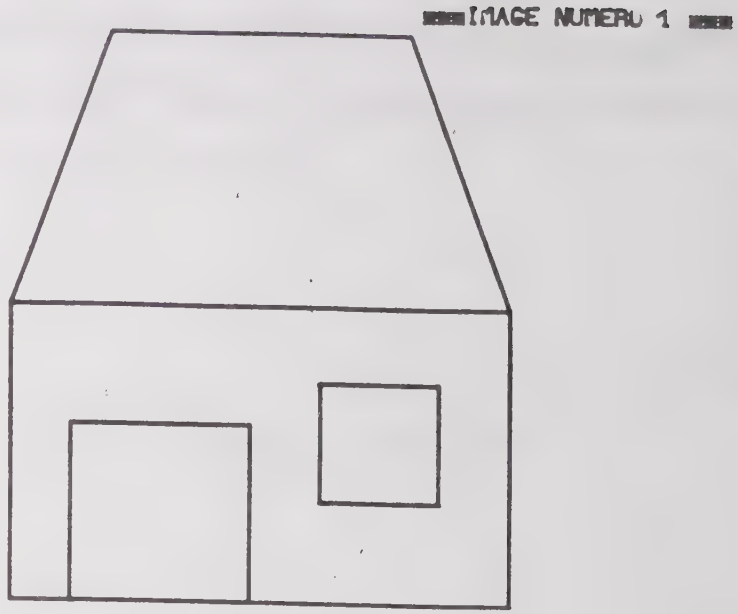



FIGURE II 2 : Dessin au trait effectué au photostyle sur console 2250 I B M .
( copie de l'écran par traceur BENSON )

QUADRI NO 1 DE COTES 9 10 8 14QUADRILATERE 1 EST UN PARALLELOGRAM
QUADRI NO 2 DE COTES 9 11 4 13QUADRILATERE 2 EST UN PARALLELOGRAM
QUADRI NO 3 DE COTES 5 12 6 14QUADRILATERE 3 EST UN PARALLELOGRAM
QUADRI NO 4 DE COTES 9 8 8 10LE QUADRILATERE 2 EST UN LOSANGE
LE QUADRILATERE 3 EST UN LOSANGE
LE QUADRILATERE 1 EST UN RECTANGLE
LE QUADRILATERE 2 EST UN RECTANGLE
LE QUADRILATERE 3 EST UN RECTANGLE
LE QUADRILATERE 2 EST UN CARRE
LE QUADRILATERE 3 EST UN CARRE

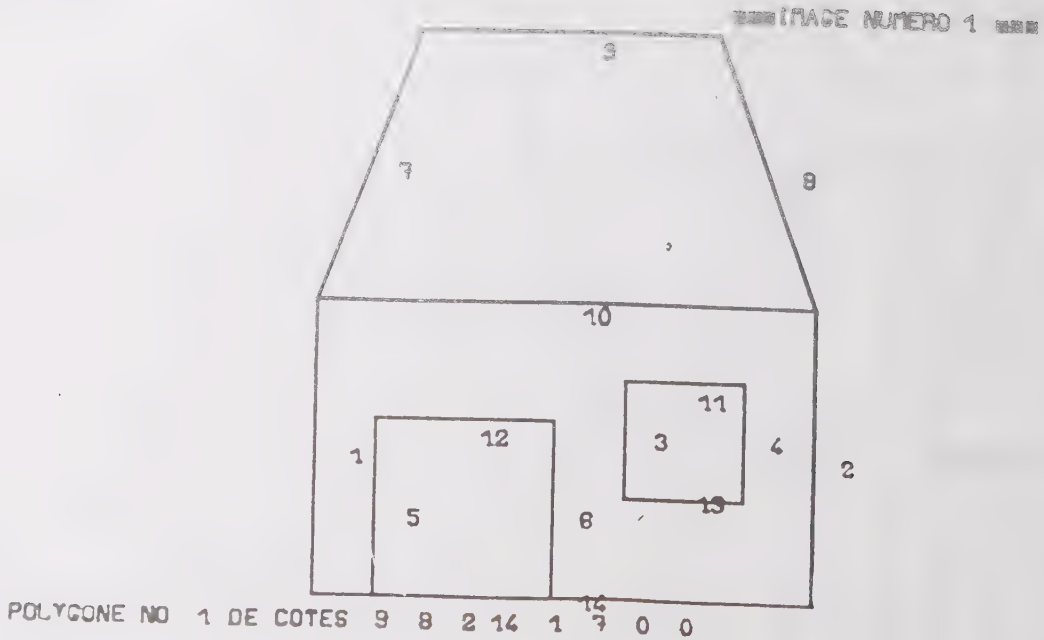



FIGURE II3: Résultats du programme d'extraction des éléments géométriques appliqué au dessin de la figure II2. ( copie de l'écran de la console 2250 I B M par traceur BENSON )

```
                    PROPOSITIONS DU CONTEXTE

          ATTENTION , EXECUTER TRANSFERT DES MODIFICATIONS
          AVANT DE LANCER LE PROGRAMME D IDENTIFICATION

TOIT=QUADRI.IM.(VALEUR.IM..IDENTI.VALEUR.ID.)
        CARTE BLANCHE

MUR=PARAL.IN.(((TOIT.IM..SUR    .PARAL.IN.).AND    .(PENTE.IM.IJ..IDENTI.P
ENTE.IN.II)).AND    .(TOIT.IM..JOINT .PARAL.IN.))

FENETRE=PARAL.IK.(((PARAL.IK..INCLUS.MUR.IN.).AND    .(PENTE.IK.JK..IDENT
I.PENTE.IN.II.)).AND    .(NOT/(PARAL.IK..JOINT .MUR.IN.)))

PORTE=PARAL.IL.(((PARAL.IL..INCLUS.MUR.IN.).AND    .(PENTE.IL.JL..IDENTI.
PENTE.IN.II.)).AND    .(PARAL.IL..JOINT .MUR.IN.))
```



FIGURE II4: - en haut : Donnée du contexte architectural en T O P O L O G O S.

- en bas : Résultat du programme d'identification appliqué à l'interprétation du dessin de la figure II2 dans le contexte défini en haut de celle-ci .

copie de l'écran de la console 2250 I B M par traceur BENSON )

```
                    RESULTATS D IDENTIFICATION

LE QUADRI     NUMERO  4 EST UN(E) TOIT
LE PARAL      NUMERO  1 EST UN(E) MUR
LE PARAL      NUMERO  2 EST UN(E) FENETRE
LE PARAL      NUMERO  3 EST UN(E) PORTE
```

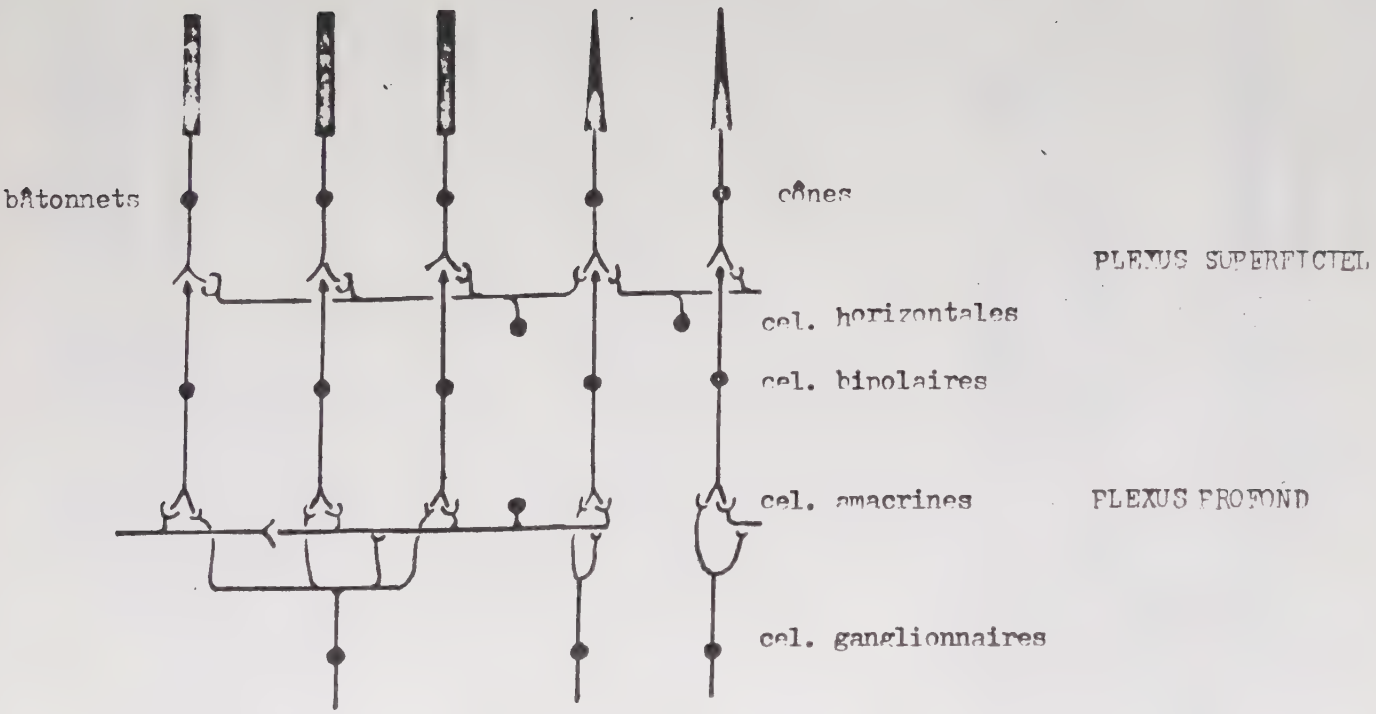



Figure II : Rappel schématique de la constitution anatomique de la rétine .

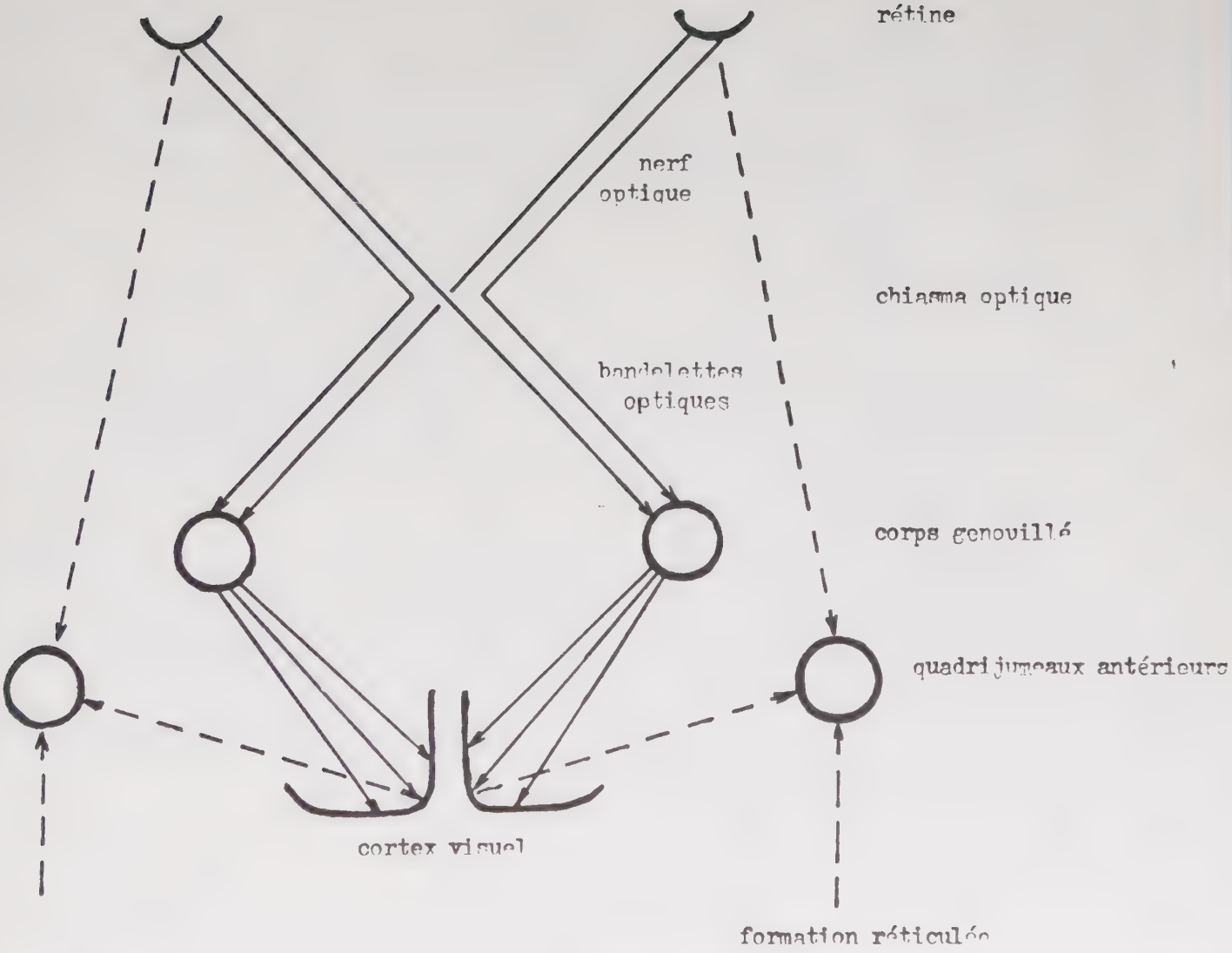



Figure II6 : Rappel de l'organisation des efférences de la rétine vers les structures sous-corticales et le cortex .

Type " ON "  Type " OFF "

Figure II7 : Champ réceptif des ganglionnaires (nerf optique) et des cellules du corps genouillé.

Zônes où le stimulus lumineux est excitateur : +

Zônes où le stimulus lumineux est inhibiteur : -

Type " Barre lumineuse "  Type " Barre noire "  Type " Transition "

Figure II8 : Champ réceptif " simple " de la majorité des cellules du cortex strié (aire I7) .

Zône où le stimulus lumineux est excitateur : +

Zône où le stimulus lumineux est inhibiteur : -

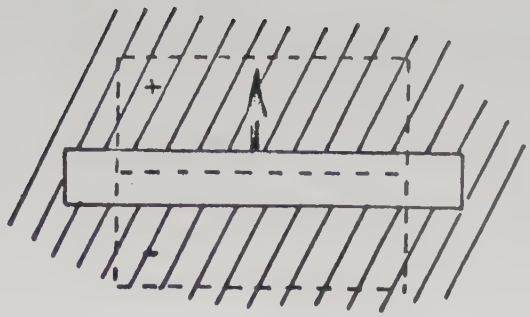



**Figure** II9 : Exemple de champ réceptif " complexe " de cellules fréquentes dans le cortex péristrié (aire I8) et plus rares dans le cortex strié (aire I7) et parastrié (aire I9). Le déplacement selon la flèche agit en faisant varier l'équilibre entre les zônes agonistes ( + ) et antagonistes ( − ) stimulées .

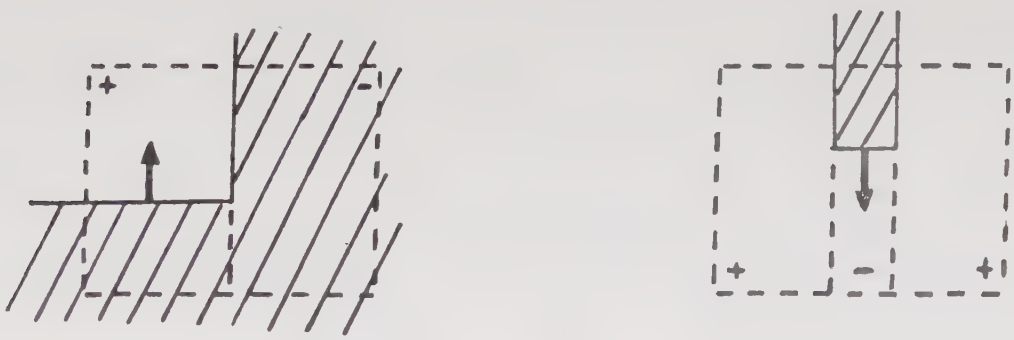



**Figure** I20 : Exemples de champ réceptif " hypercomplexe " de cellules fréquentes dans le cortex parastrié (aire I9) et plus rares dans le cortex péristrié (aire I8) .
Le déplacement selon la flèche agit en faisant varier l'équilibre entre les zônes agonistes ( + ) et antagonistes ( − ) stimulées .

# TABLE DES MATIERES


| | | |
|---|---|---|
| AVP | AVANT PROPOS : PROBLEMES COMMUNS A LA DEFINITION D'ALGORITHMES DE RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE DE FORMES ET A LA COMPREHENSION DES PROCESSUS PERCEPTIFS DE LA VISION HUMAINE | 1 |
| AVP - 1 | SEGMENTATION DES IMAGES ET SEGRAGATION DES FORMES | 2 |
| AVP - 2 | ROLE DE LA CONNAISSANCE DU CONTEXTE DANS L'IDENTIFICATION DES OBJETS | 3 bis |
| 0 | INTRODUCTION | 4 |
| 1 | PREMIERE PARTIE : DELIMITATION DES SURFACES COUVERTES PAR CHACUN DES OBJETS REPRESENTES SUR LA PHOTOGRAPHIE ANALYSEE . | 6 |
| 1 - 1 - | DEFINITIONS RELATIVES AU TRAITEMENT DES IMAGES ET TENANT COMPTE DES CONTRAINTES IMPOSEES PAR L'UTILISATION DES CALCULATEURS . | 7 |
| 1-1-1- | RAPPEL DU PRINCIPE DE PRELEVEMENT DE L'INFORMATION SUR L'IMAGE PAR LE CAPTEUR . NOTIONS DE "DEFINITIONS HORIZONTALES ET VERTICALES" ET DE "NOMBRE DE NIVEAUX DE GRIS" . | |
| 1-1-2 | RAPPORTS ENTRE L'IMAGE ET SA "REPRESENTATION DISCRETE" ELABOREE PAR LE CAPTEUR . | 8 |
| 1-1-3 | CHOIX D'OPERATEURS TRADUISANT CERTAINES "PROPRIETES LOCALES" DE L'IMAGE ET DE SA REPRESENTATION DISCRETE . | 8 |

| | | |
|---|---|---|
| 1-1-3-1- | Opérateur GRADIENT (rappel de la définition classique pour les images et de son adaptation à leur représentation discrète). | 10 |
| 1-1-3-2 | Opérateur NIVEAU DE GRIS MOYEN . | 12 |
| 1-1-3-3 | Opérateur TEXTURE . | 13 |
| 1-1-3-4 | Opérateur DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES . | 15 |
| 1-1-3-5- | Opérateur DETECTEUR DE BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES | 16 |
| 1-1-3-6 | Opérateur DETECTEUR DE BORDS SEPARANT DES ZONES A REPARTITIONS STATISTIQUES DIFFERENTES DES ECLAIREMENTS | 17 |
| 1-1-4 | PRECAUTIONS A PRENDRE A FIN D'ASSURER L'INVARIANCE DE LA CONNEXION LORSQU'ON PASSE D'UNE "IMAGE BINAIRE" A SA REPRESENTATION DISCRETE . | 18 |
| 1-1-4-1 | Rappel de la définition de la connexion en topologie et application aux "images binaires" | 18 |
| 1-1-4-2 | Définition de la connexion étendue à la représentation discrète d'une "image binaire", qui respecte l'invariance dans le passage de l'image à sa représentation discrète et évite toute contradiction dans l'interprétation d'images complémentaires . | 19 |
| 1-2 | PROBLEME DE LA LOCALISATION DES OBJETS | 21 |
| 1-2-1 | Méthode employée : utilisation de l'opérateur GRADIENT appliqué à la représentation discrète obtenue par exploration de l'image à définition réduite . | 21 |
| 1-2-2 | Résultats obtenus au cours de l'expérimentation . | 22 |
| 1-2-3 | Moyens techniques utilisés . | 23 |
| 1-2-4 | Conclusions tirées de cette expérimentation et perspectives d'essais ultérieurs . | 27 |

| | | |
|---|---|---|
| 1 - 3 | PROBLEME DE LA DELIMITATION DES OBJETS | 28 |
| 1-3-1 | Définition des contours d'objets . | 28 |
| 1-3-1-1 | Notion de "fonction caractéristique associée aux objets représentés | 28 |
| 1-3-1-2 | Rappel de la définition des contours d'une image binaire . | 28 |
| 1-3-1-3 | Application à la définition des contours théoriques de chaque objet représenté ; présentation du problème de la délimitation des objets . | 30 |
| 1-3-2 | PREMIERE METHODE : Utilisation de l'opérateur GRADIENT pour l'extraction des bords "contrastés" et de l'opérateur NIVEAU DE GRIS MOYEN pour la recherche des surfaces à éclairement uniforme . | 31 |
| 1-3-2-1 | Description de la méthode . | 31 |
| 1-3-2-2 | Résultats obtenus au cours de l'expérimentation . | 32 |
| 1-3-2-3 | Moyens techniques utilisés . | 32 |
| 1-3-2-4 | Conclusions . | 33 |
| 1-3-3 | SECONDE METHODE : Utilisation des opérateurs DETECTEUR DE BORDS CONTRASTES et DETECTEUR DE BORDS A NIVEAUX DE GRIS DEGRADES . | 34 |
| 1-3-3-1 | Description de la méthode . | 34 |
| 1-3-3-2 | Résultats obtenus au cours de l'expérimentation . | 36 |
| 1-3-3-3 | Moyens techniques utilisés . | 38 |
| 1-3-3-4 | Conclusions . | 39 |
| 1-3-4 | TROISIEME METHODE : Utilisation des opérateurs traduisant le fonctionnement des neurones de la voie optique spécifique chez les mammifères supérieurs d'après les expériences de HUBEL et WIESEL . | 40 |

| | | |
|---|---|---|
| 1-3-4-1 | Description du principe de la simulation . | 40 |
| 1-3-4-2 | Résultats obtenus au cours de l'expérimentation (essai H) | 44 |
| 1-3-4-3 | Moyens techniques utilisés . | 44 |
| 1-3-4-4 | Conclusisons. | 44 |
| | CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE . | 46 |
| 2 | DEUXIEME PARTIE : IDENTIFICATION DES OBJETS REPRESENTES A PARTIR DES PROPRIETES INTRINSEQUES DE L'IMAGE et DE L'EXPRESSION SYSTEMATIQUE DU CONTEXTE EXTERIEUR A CELLE-CI, MAIS CONNU A PRIORI . | 47 |
| 2-1 | UTILISATION DES PROPRIETES INTRINSEQUES DE L'IMAGE | 48 |
| 2-1-1 | Propriétés des contours . | 48 |
| 2-1-1-1 | Approximation des contours par des chaines de segments . | 48 |
| 2-1-1-1-1 | Méthode employée . | 48 |
| 2-1-1-1-2 | Résultats obtenus au cours de l'expérimentation . | 53 |
| 2-1-1-1-3 | Moyens techniques utilisés . | 53 |
| 2-1-1-1-4 | Conclusions . | 53 |
| 2-1-1-2 | Assimilation de certaines chaines de segments ainsi obtenues à des figures géométriques simples du plan . | 54 |
| 2-1-1-2-1 | "Pseudo-parallèlisme" de deux segments . | 54 |
| 2-1-1-2-2 | "Pseudo-perpendicularité" de deux segments . | 54 |
| 2-1-1-2-3 | "Pseudo-confusion" de deux points . | 54 |
| 2-1-1-2-4 | "Pseudo-confusion" de deux segments "égaux" et pseudo-parallèles . | 54 |
| 2-1-1-2-5 | Méthode utilisée pour la recherche d'éléments géométriques simples | 55 |
| 2-1-1-2-6 | Résultats obtenus au cours de l'expérimentation . | 56 |

| | | |
|---|---|---|
| 2-1-1-2-7 | Moyens techniques utilisés | 56 |
| 2-1-1-2-8 | Conclusions | 58 |
| 2-1-1-3 | Application des lois de la perspective à la construction de polyédres de l'espace à trois dimensions dont la photographie est une représentation plane . | 59 |
| 2-1-1-3-1 | Rappel des définitions de la "ligne d'horizon" et des "points de fuite" . | 59 |
| 2-1-1-3-2 | Méthode proposée . | 59 |
| 2-1-2 | Propriétés statistiques de la répartition des niveaux de gris sur les surfaces delimitées par les contours . | 61 |
| 2-1-2-1 | Problème de l'identification des matières dont sont constitués les objets . | 61 |
| 2-1-2-2 | Méthode employée . | 62 |
| 2-1-2-3 | Résultats des premiers essais effectués . | 62 |
| 2-1-2-4 | Moyens techniques utilisés . | 63 |
| 2-1-2-5 | Conclusions provisoires et perspectives de poursuite des essais. | 63 |
| 2-2 | UTILISATION DE LA DESCRIPTION DES CONTRAINTES IMPOSEES PAR LE CONTEXTE EXTERIEUR A L'IMAGE,MAIS CONNU A PRIORI | 64 |
| 2-2-1 | Exemple traite : Identification d'éléments du contexte architectural sur des dessins au trait schématisés | 64 |
| 2-2-1-1 | Description du langage TOPOLOGOS que nous avons défini en vue de l'expression des contraintes de positions . | 64 |
| 2-2-1-1-1 | Vocabulaire , | 64 |
| 2-2-1-1-2 | Règles syntaxiques . | 65 |
| 2-2-1-2 | Principe de fonctionnement de l'interpréteur | 66 |
| 2-2-1-2-1 | Analyse syntaxique . | 66 |

| | | |
|---|---|---|
| 2-2-1-2-1 | Recherche des éléments géométriques du dessin vérifiant les contraintes de positions . | 68 |
| 2-2-1-3 | Résultats obtenus . | 69 |
| 2-2-1-4 | Moyens techniques utilisés . | 70 |
| 2-2-1-5 | Conclusions et possibilités d'amélioration du procédé pour l'adaptation à des contextes d'utilisation réels . | 70 |
| | CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE . | 72 |
| | ANNEXES | 74 |
| A-1 | EVOLUTION DE LA PSYCHOLOGIE DE LA PERCEPTION VISUELLE . | 74 bis |
| A-1-1 | Genèse de la notion de "forme" de l'Associationnisme" à la "Gestalt"... | 74 bis |
| A-1-2 | Principe de la ségrégation d'une forme sur un "fond" : "prégnance d'une forme" . | 76 |
| A-1-3 | Rôle joué dans cette ségrégation par la signification qu'ont acquises les formes dans la représentation des objets (Contexte et identification) . | 77 |
| A- 2 | RESULTATS RECENTS ET RECHERCHES EN COURS EN PSYCHOPHYSIOLOGIE DE LA VISION . | 80 |
| A - 2-1 | Présentation des connaissances actuelles sur le fonctionnement du système visuel des mammifères supérieurs . | 80 |
| A-2-2 | Résultats obtenus par HUBEL et WIESEL en explorant la voie optique spécifique, chez le chat et le singe, par implantation de microélectrodes unitaires . | 83 |
| | BIBLIOGRAPHIE | 86 |
| | LISTE DES PROGRAMMES MIS AU POINT POUR CETTE RECHERCHE | 110 |